

Andreas Weißenbach

Verbundinstandhaltung bei Kleinstunternehmen, kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) - Ein Konzept für neue Organisationsformen der Instandhaltung

Verbundinstandhaltung bei Kleinstunternehmen, kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)

Ein Konzept für neue Organisationsformen
der Instandhaltung

Andreas Weißenbach



Universitätsverlag Ilmenau
2012

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Diese Arbeit hat der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau als Dissertation vorgelegen.

Tag der Einreichung:	27. Februar 2012
1. Gutachter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolf-Michael Scheid (Technische Universität Ilmenau)
2. Gutachter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani (Universität Rostock)
3. Gutachter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Schmidt (Technische Universität Dresden)
Tag der Verteidigung:	19. Juli 2012

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

Universitätsverlag Ilmenau

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag

Herstellung und Auslieferung

Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

www.mv-verlag.de

ISBN 978-3-86360-045-7 (Druckausgabe)

URN urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012000302

„Wir müssen neu über Kooperation nachdenken. Ohne Kooperation wird es in der Zukunft nicht mehr gehen. Unternehmen werden in Bereichen zusammenarbeiten, in denen sie es sich bisher überhaupt nicht vorstellen konnten.“

PROF. DR. PETER KRUSE
Geschäftsführender Gesellschafter der nextpractice GmbH, Bremen
Hauptvortrag zum 27. Deutschen Logistik-Kongress
Berlin, 20. Oktober 2010

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der betrieblichen Instandhaltung bei Kleinstunternehmen, kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Als integrale Querschnittsfunktion ist die Instandhaltung maßgeblich für die Sicherstellung einer betriebspezifisch erforderlichen Verfügbarkeit und zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit von technischen Einheiten verantwortlich. Im Rahmen des Leistungserstellungsprozesses hat sie daher eine besondere Bedeutung. Nicht alle Unternehmen erkennen diesen Zusammenhang und verkennen damit einen wesentlichen Wettbewerbsfaktor. Vor allem bei KMU wird der betrieblichen Instandhaltung wenig Beachtung geschenkt, eine Vernachlässigung der technischen Einheiten wird in Kauf genommen. Gegenüber großen Unternehmen bringen sich KMU dadurch in eine nachteilige Lage.

Die Erörterung der Instandhaltungstheorie und die Analyse der Situation in der Praxis erlauben eine Bewertung des beschriebenen Sachverhalts. Als Ausgangspunkt zur Verbesserung der betrieblichen Instandhaltung bei KMU dient in dieser Arbeit die partnerschaftliche Zusammenarbeit von Unternehmen. Sie bildet den Rahmen für weitere Überlegungen und liefert die strukturellen Grundlagen der kooperativen Instandhaltung. Davon abgeleitet, stellt eine „horizontale Instandhaltungskooperation“ einen möglichen Lösungsansatz für die betriebliche Instandhaltung bei KMU dar. Im Vergleich zu den bislang üblichen Vorgehensweisen der Eigen- und Fremdinstandhaltung beinhaltet die Leistungsbündelung von Instandhaltungsressourcen große Potenziale für KMU. Inwieweit die Konzentration von Fachkompetenz, Beziehungen und Motivation, die eine gemeinsame Nutzung von Personalkapazitäten, Ersatzteilen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. erlaubt, eine praktikable Lösung repräsentiert, wird im Verlauf dieser Arbeit und anhand von Fallbeispielen sowie mittels Simulationen unterschiedlicher Szenarien der geplanten und ungeplanten Instandhaltung untersucht.

Eine horizontale Instandhaltungskooperation von Unternehmen zum Zweck der gemeinsamen und unternehmensübergreifenden Instandhaltung eröffnet neue Möglichkeiten für die betriebliche Instandhaltung bei KMU. Sie ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg hin zu einem verantwortungsvollen und professionellen Instandhaltungsmanagement, insbesondere für KMU.

Schlagwörter zur vorliegenden Arbeit:

Instandhaltung, Instandhaltungsmanagement, Eigeninstandhaltung, Fremdinstandhaltung, Herstellerinstandhaltung, Instandhaltungsdienstleister, Instandhaltungsressourcen, Instandhaltungsvermögen, partnerschaftliche Zusammenarbeit, Kooperation, Netzwerk, KMU, kooperative Instandhaltung, horizontale Instandhaltungskooperation, Verbundinstandhaltung, Instandhaltungskosten

Abstract

The subject of this thesis is operational maintenance in small-to-mid-sized firms. Maintenance is a function integral to every operation; it is essentially responsible for assuring the necessary plant-specific availability and reliable functioning and effectiveness of its technical components. Therefore, it has special significance when it comes to improving performance. Not all firms recognize this relationship and in the process, overlook a significant competitive factor. It is especially true that in smaller firms, operational maintenance is accorded only passing attention with the result that neglect of technical components is considered to be normal. Thus, small firms put themselves at a significant disadvantage with respect to their larger competitors.

Consideration of maintenance theory coupled with practical analysis of the situation at hand have made it possible to be specific about particular situations. Cooperation between firms on a partnership basis is proposed as the starting point for improving operational maintenance at small-to-medium sized firms. Such cooperation provides a framework for additional decisions while providing a foundation for working together on maintenance. Such „horizontal cooperation“ represents a possible approach to operational maintenance at small-to-mid-sized firms. The bundling of maintenance resources offers great potential for such firms, when compared with the alternative of in-house or outsourced maintenance. This thesis investigates the extent to which professional expertise, circumstances and motivation permit the common use of personnel capacities, replacement parts, equipment, tools, etc. - in other words, the extent to which such a solution is practicable. The results are illustrated through case studies and scenarios developed by simulating planned and unplanned maintenance.

Horizontal maintenance cooperation by firms for the sake of common, multi-firm maintenance creates new possibilities for performing operational maintenance at small-to-mid-sized firms. It is an important step on the path to responsible and professional maintenance management, especially for small-to-mid-sized firms.

Keywords concerning this thesis:

maintenance, maintenance management, in-house maintenance, outsourced maintenance, supplier maintenance, maintenance service bureau, maintenance resources, maintenance assets, cooperation based on partnership, cooperation, network, small-to-mid-sized firms, cooperative maintenance, horizontal maintenance cooperation, group maintenance, maintenance costs

Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit im Fachgebiet Fabrikbetrieb an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau und an der Dualen Hochschule Mosbach. In dieser Zeit konnte ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter neben der Forschung auch interessante Industrieprojekte betreuen sowie als Hochschuldozent wichtige Erfahrungen in der Lehre zur Ausbildung von jungen Ingenieurinnen und Ingenieuren gewinnen.

Die ersten Überlegungen zu dieser Arbeit entstanden schon während meiner Tätigkeit als Serviceleiter für einen weltweit führenden Werkzeugmaschinenhersteller. Die Feststellung, dass es gerade bei Kleinstunternehmen, kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) häufiger als bei großen Unternehmen zu Störungen oder Ausfällen von technischen Einheiten kommt, wurde durch meine späteren Erfahrungen als Projektleiter in einem international agierenden Beratungsunternehmen für Produktions- und Logistikorganisation bestätigt. Diese Gegebenheit machte mich neugierig.

Mein besonderer Dank gilt an dieser Stelle Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolf-Michael Scheid, Leiter des Instituts für rechnerunterstützte Produktion und des Fachgebiets Fabrikbetrieb, für die Betreuung und Übernahme des Erstgutachtens. Schon während meines gesamten Studiums, in der Zeit meiner Industrietätigkeiten sowie als wissenschaftlicher Mitarbeiter und insbesondere während der Erstellung dieser Arbeit hat er mich fachlich und persönlich stets unterstützt und gefördert. Er hat einen großen Anteil am Gelingen dieser Arbeit.

Danken möchte ich natürlich auch Frau Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani der Universität Rostock für die Übernahme des Zweitgutachtens und Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Schmidt der Technischen Universität Dresden für die Übernahme des Drittgutachtens. Beiden möchte ich zudem für das Interesse an dieser Arbeit ganz ausdrücklich danken.

Einen großen Anteil an dieser Arbeit hatten natürlich auch die Partner aus der Industrie, meine Kolleginnen und Kollegen sowie einzelne Studierende und Freunde. Sie alle haben zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. An dieser Stelle möchte ich auch ihnen allen danken.

Ganz speziell möchte ich meinen Eltern Christel und Wilhelm Weißenbach danken, die mich stets unterstützt haben. Auch meiner Lebensgefährtin Regina Katharina Ebner gilt besonderer Dank. Sie haben mir immer verständnisvoll Rückhalt gegeben, den notwendigen Freiraum zugestanden und mich fortwährend motiviert. Ihnen widme ich diese Arbeit.

Ilmenau, im Februar 2012

Andreas Weißenbach

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	XVII
Symbolverzeichnis	XXI
1 Einleitung	1
1.1 Einführung in den Themenbereich	1
1.2 Zielsetzung dieser Arbeit	8
1.3 Forschungsfeld dieser Arbeit	10
2 Bestimmung der Instandhaltung	11
2.1 Definition und Grundmaßnahmen	11
2.2 Begriffe und Kenngrößen	13
2.2.1 Abnutzung und Abnutzungsvorrat	13
2.2.2 Ersatzteile	15
2.2.3 Instandhaltbarkeit	15
2.2.4 Instandhaltungsvermögen	16
2.2.5 Instandhaltungsrate	16
2.2.6 Zuverlässigkeit	17
2.2.6.1 Zuverlässigkeitskenngrößen	17
2.2.6.2 Redundanz	20
2.2.6.3 Ausfallratenmodelle	22
2.2.7 Verfügbarkeit	25
2.2.7.1 Begriffe der Verfügbarkeit	25
2.2.7.2 Verfügbarkeitskenngrößen	25
2.3 Instandhaltungsmanagement	26
2.3.1 Strategisches Instandhaltungsmanagement	27
2.3.1.1 Ziele der Instandhaltung	28
2.3.1.2 Systematik der Instandhaltungsdurchführung	28
2.3.1.3 Klassische Instandhaltungsstrategien	29
2.3.1.4 Moderne Instandhaltungskonzepte	32
2.3.2 Operatives Instandhaltungsmanagement	41
2.3.2.1 Aufbauorganisation der Instandhaltung	42
2.3.2.2 Ablauforganisation der Instandhaltung	45
2.3.2.3 Örtliche Verteilung der Instandhaltung	49
2.3.2.4 Personelle Verteilung der Instandhaltung	50
2.3.3 Instandhaltungskosten	55
2.3.3.1 Direkte Instandhaltungskosten	56
2.3.3.2 Indirekte Instandhaltungskosten	56
2.3.3.3 Idealtypische Kostenverlaufskurve	60
2.3.4 Allgemeines Grundschema der Instandhaltung	61
2.4 Instandhaltung in der Praxis	61
2.4.1 Bedeutung der Instandhaltung	64
2.4.2 Strategien und Konzepte	67
2.4.3 Personelle Aufgabenverteilung	69
2.4.4 Software- und Technologieeinsatz	73
2.4.5 Finanzielle Aufwendungen	75
2.5 Bewertung der Erkenntnisse	76

2.6	Fazit	80
3	Partnerschaftliche Zusammenarbeit	81
3.1	Kooperationen	81
3.1.1	Ziele von Kooperationen	81
3.1.2	Vor- und Nachteile von Kooperationen	82
3.1.3	Grundformen von Kooperationen	83
3.1.4	Anwendungsbereiche von Kooperationen	83
3.1.5	Systematisierung von Kooperationen	85
3.1.5.1	Ausrichtung von Kooperationen	85
3.1.5.2	Arten von Kooperationen	86
3.1.5.3	Merkmale von Kooperationen	87
3.1.6	Allgemeines Grundsche ma von Kooperationen	90
3.2	Netzwerke	91
3.2.1	Definition und Grundmodell eines Netzwerkes	91
3.2.2	Abgrenzung von Kooperationen zu Netzwerken	92
3.2.2.1	Merkmale von Netzwerken	92
3.2.2.2	Strukturen von Netzwerken	94
3.2.3	Arten von Netzwerken	96
3.2.3.1	Strategische Unternehmensnetzwerke	97
3.2.3.2	Regionale Unternehmensnetzwerke	97
3.2.3.3	Virtuelle Unternehmensnetzwerke	98
3.2.3.4	Wirtschaftscluster	98
3.2.4	Allgemeines Grundsche ma von Netzwerken	98
3.3	Bewertung der Erkenntnisse	99
3.4	Kooperative Instandhaltung	99
3.4.1	Gestaltungskriterien kooperativer Instandhaltung	100
3.4.2	Komplementäre Instandhaltungskooperation	104
3.4.3	Kooperatives Instandhaltungsnetzwerk	105
3.4.4	Lösungsansatz: Horizontale Instandhaltungskooperation	106
3.5	Fazit	112
4	Horizontale Instandhaltungskooperation	113
4.1	Allgemeine Anforderungen	113
4.2	Beispielunternehmen	114
4.3	Gestaltung einer horizontalen Instandhaltungskooperation	115
4.3.1	Ausgestaltung der partnerschaftlichen Zusammenarbeit	116
4.3.1.1	Grundform, Bereich und Ausrichtung	116
4.3.1.2	Art, Intensität und Verbindlichkeit	116
4.3.1.3	Ausdehnung, Dauer und Zutrittsmöglichkeit	117
4.3.1.4	Zielidentität und Fähigkeit	117
4.3.1.5	Kopplung und Partneranzahl	118
4.3.1.6	Macht, Aufbau und Beziehungsgefüge	118
4.3.2	Ausgestaltung der unternehmensübergreifenden Instandhaltung	119
4.3.2.1	Örtliche und personelle Verteilung	119
4.3.2.2	Integration von Instandhaltungstätigkeiten	120
4.3.2.3	Lagerhaltung von Ersatzteilen	122
4.3.2.4	Nutzung von IPS-Systemen	122
4.4	Erfolgsaussichten einer horizontalen Instandhaltungskooperation	122
4.4.1	Einschätzung der Erfolgsaussichten	123
4.4.2	Durchführung der Erfolgseinschätzung	124
4.4.3	Interpretation der Ergebnisse	130
4.5	Durchführung einer horizontalen Instandhaltungskooperation	131
4.5.1	Bestimmung der personellen und technischen Gegebenheiten	131
4.5.1.1	Personelle Instandhaltungsressourcen	132
4.5.1.2	Spezifizierung der technischen Einheiten	134

4.5.1.3	Klassifizierung und Zuordnung	137
4.5.2	Anwendung einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation	139
4.5.2.1	Geplante Instandhaltung	139
4.5.2.2	Nicht geplante Instandhaltung	142
4.5.3	Leistungsfähigkeit einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation	148
4.5.3.1	Simulation einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation	148
4.5.3.2	Durchführung der Simulationsstudie	150
4.6	Bewertung der Erkenntnisse	157
4.6.1	Erfolgsfaktoren der Verbundinstandhaltung	159
4.6.2	Optimierung der Instandhaltung	160
4.6.3	Vor- und Nachteile der Verbundinstandhaltung	162
4.7	Fazit	164
5	Schlussbetrachtung	167
5.1	Zusammenfassung	167
5.2	Ausblick	170
	Abbildungsverzeichnis	173
	Tabellenverzeichnis	177
	Literaturverzeichnis	179
	Anhang	191
A	Methoden und Beispiele der Instandhaltung	193
A.1	Zuverlässigkeitsanalyse	193
A.1.1	Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)	193
A.1.2	Fehlerbaumanalyse (FTA)	195
A.2	Berechnungsbeispiele	197
A.2.1	Zuverlässigkeit mit und ohne Redundanz	197
A.2.2	Verfügbarkeit bzw. Nichtverfügbarkeit	198
A.2.3	Gesamtanlageneffektivität	199
B	Methoden und Daten der Erfolgseinschätzung	201
B.1	Nutzwertanalyse	201
B.2	Experten der Instandhaltung	204
B.3	Gewichtung der Wertebereiche	205
B.4	Bewertungskriterien der Kategorien	206
B.4.1	Stärken einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation	206
B.4.2	Chancen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation	208
B.4.3	Schwächen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation	209
B.4.4	Risiken einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation	211
B.5	Ergebnisse der Durchführung	212
B.5.1	Bestimmung von Teil- und Gesamtnutzen	212
B.5.2	Bestimmung der Erfolgsnutzenwerte	229
C	Methoden und Daten des Konzeptes	231
C.1	Status der technischen Einheiten	231
C.2	Technologie- und Instandhaltungskennzahlen	235
C.3	Berechnung der Fallbeispiele	237
C.4	Leistungsfähigkeit des Konzeptes	253
C.4.1	Simulation	253
C.4.2	Simulationsprogramm	255
C.4.3	Modellparameter und Simulationsdaten	257
C.4.3.1	Modellparameter der technischen Einheiten	257
C.4.3.2	Modellparameter der Instandhaltungsakteure	258

C.4.3.3	Simulationsdaten der technischen Einheiten	260
C.4.3.4	Simulationsdaten der Instandhaltungsakteure	265
C.4.4	Simulationsergebnisse der Szenarien	269

Abkürzungsverzeichnis

a	annu m (dt. Jahr)
AG	Aktiengesellschaft
AR	Augmented Reality (dt. virtuell erweiterte Mensch-Maschinen-Interaktion)
ArbStättV	Arbeitsstättenverordnung
AÜG	Arbeitnehmerüberlassungsgesetz
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung , Berlin
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie , Berlin
bzw.	beziehungsweise
CBM	Condition Based Maintenance (dt. zustandsabhängige Instandhaltung)
Co.	Compagnie
d	day (dt. Tag)
DIN	Deutsche Industrie Norm
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt , Berlin
dt.	deutsch
e.V.	eingetragener Verein
EG	Europäische Gemeinschaft
EN	Europäische Norm
engl.	englisch
ERP	Enterprise Resource Planning (dt. Planung von Unternehmensressourcen)
FMEA	Failure Modes Effects Analysis (dt. Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse)
FMECA	Failure Modes Effects and Criticality Analysis (dt. Fehlzustandsart-, -auswirkungs- und -kritizitätsanalyse)
franz.	französisch
FTA	Fault Tree Analysis (dt. Fehlerbaumanalyse)
ggü.	gegenüber
h	hour(s) (dt. Stunde(n))
IfM	Institut für Mittelstandsforschung , Bonn
ifm	ifm electronic GmbH , Essen
IML	Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik , Dortmund

inkl.	inklusive
IPS	I nstandhaltungs p lanung und - s teuerung
IPT	F raunhofer I nstitut für P roduktionstechnologie, Aachen
IRP	I nstitut für r echnerunterstützte P roduktion der Technischen Universität Ilmenau
JIT	J ust-in-time (dt. rechtzeitige, bedarfssynchrone Produktion)
km	K ilometer
KMU	K leinstunternehmen, kleine und m ittlere Unternehmen
KVP	K ontinuierlicher V erbesserungs p rozess
lat.	l ateinisch
MDT	M ean D own T ime (dt. mittlere Zeitspanne der Störungsdauer)
min	M inute(n)
Mio.	M illion(en)
Mrd.	M illiarde(n)
MTBF	M ean T ime B etween F ailures (dt. mittlere Zeitspanne bis zum nächsten Ausfall)
MTTF	M ean T ime T o F ailure (dt. mittlere Zeitspanne bis zum Ausfall)
MTTFF	M ean T ime T o F irst F ailure (dt. mittlere Zeitspanne bis zum ersten Ausfall)
MTTR	M ean T ime T o R ecovery (dt. mittlere Zeitspanne bis zur Wiederherstellung)
Nr.	N ummer
OEE	O verall E quipment E ffectiveness (dt. Gesamtanlageneffektivität)
Pkt.	P unkt(e)
PM	P reventive M aintenance (dt. vorbeugende Instandhaltung)
RBM	R isk B ased M aintenance (dt. risikoabhängige Instandhaltung)
RCM	R eliability C entered M aintenance (dt. zuverlässigkeitsabhängige Instand- haltung)
RFID	R adio F requency I dentification (dt. Funkerkennung)
RM	R eactive M aintenance (dt. reaktive Instandhaltung)
SCM	S upply C hain M anagement (dt. Organisation, Koordinierung und Durchführung von Produktions- und Lieferketten)
SLA	S ervice L evel A greement (dt. Dienstgütevereinbarung)
SPS	s peicher p rogrammierbare S teuerung
Stk.	S tück, Anzahl
Sz	S zenario
TBF	T ime B etween F ailures (dt. Zeitspanne bis zum nächsten Ausfall)
TPM	T otal P roductive M aintenance (dt. ganzheitlich integrierte Instandhaltung)
TTR	T ime T o R ecovery (dt. Zeitspanne bis zur Wiederherstellung)
TÜV	T echnischer Ü berwachungs v erein e.V.

u.	und
u. a.	und andere
usw.	und so weiter
UVV	Unfallverhütungsvorschriften
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Frankfurt am Main
VFI	VDMA-Gesellschaft für Forschung und Innovation mbH, Frankfurt am Main
vgl.	vergleiche
WB	Wertebereich(e)
WZL	Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebswirtschaftslehre der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
z.B.	zum Beispiel

Symbolverzeichnis

a	Bewertungspunkte
A_{alle}	Anzahl aller Aufträge
A_{Bdg}	Bewertungspunkte der Bedeutung
A_n	Mitarbeiter n des Beispielunternehmens A
A_{negativ}	Anzahl der Aufträge mit negativem Ergebnis
A_{positiv}	Anzahl der Aufträge mit positivem Ergebnis
B_n	Mitarbeiter n des Beispielunternehmens B
B_{Rdz}	Bewertungspunkte der Redundanz
C_n	Mitarbeiter n des Beispielunternehmens C
D_n	Mitarbeiter n des Beispielunternehmens D
E_n	Mitarbeiter n des Beispielunternehmens E
EN	Erfolgsnutzenwert
E(T)	Erwartungswert der Lebensdauer
F(t)	Ausfallwahrscheinlichkeit zum Zeitpunkt t
f(t)	Ausfalldichte zum Zeitpunkt t
G	Gewichtungsfaktor
G_{norm}	normierter Gewichtungsfaktor
GN	Gesamtnutzenwert
Gt	Güte einer Lösung
HK	Hauptkategorie
K_A	Kosten der Instandhaltung im Punkt A
K_B	Kosten der Instandhaltung im Punkt B
K_C	Kosten der Instandhaltung im Punkt C
K_{min.}	minimale Kosten der Instandhaltung
L	Leistungsgrad
MDT	Mean Down Time
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTR	Mean Time To Recovery
OEE	Overall Equipment Effectiveness
P	Wahrscheinlichkeit

Q	Qualitätsrate
R	Zuverlässigkeit der Einheit i
R(t)	Überlebenswahrscheinlichkeit zum Zeitpunkt t
t	Zeit
T	Lebensdauer
T_{IH_k}	Technologie- und Instandhaltungskennzahl
TN	Teilnutzenwert
U_A	Unternehmen A
U_B	Unternehmen B
U_C	Unternehmen C
U_D	Unternehmen D
U_E	Unternehmen E
UK	Unterkategorie
U(t)	Nichtverfügbarkeit zum Zeitpunkt t
V	Verfügbarkeit
V_A	Verfügbarkeit im Punkt A
V_B	Verfügbarkeit im Punkt B
V_C	Verfügbarkeit im Punkt C
$\bar{V}(t)$	Nichtverfügbarkeit zum Zeitpunkt t
V_{erf.}	erforderliche Verfügbarkeit
V_{IST}	Verfügbarkeit (IST-Situation)
V(K_{min.})	Verfügbarkeit zu minimalen Kosten
V_{max.}	maximale Verfügbarkeit (100 %)
V(t)	Verfügbarkeit zum Zeitpunkt t
X_{Agrd}	Bewertungspunkte des Automatisierungsgrads
Y_{Vgrd}	Bewertungspunkte des Verkettungsgrads
z(t)	Boole'sche Variable zum Zeitpunkt t
Z	Zustandsabweichung
Z_{Kplx}	Bewertungspunkte der Komplexität
€	Euro
$\lambda_{(t)}$	Ausfallrate zum Zeitpunkt t
μ	Instandhaltungsrate
§	Paragraph

1 Einleitung

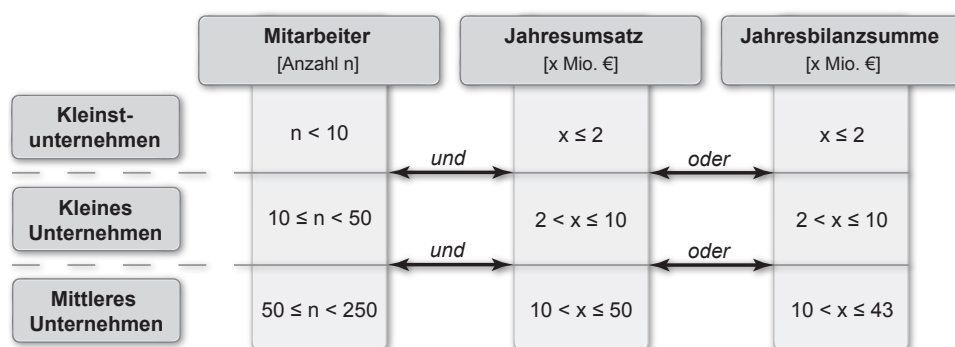
1.1 Einführung in den Themenbereich

In den meisten Industriestaaten sind Kleinstunternehmen, kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in ihrer ganzen Vielfalt an der Leistungsfähigkeit der jeweiligen Volkswirtschaft beteiligt und haben damit einen bedeutsamen Anteil an der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Stabilität. Zu den multinationalen Konzernen mit ihren globalen wirtschaftlichen Verflechtungen und Einflüssen stellen sie ein starkes Gegengewicht dar und prägen damit als integraler Bestandteil die wirtschaftliche Struktur eines Landes und dessen Wirtschaftsraumes [vgl. BMWI-Berlin, 2007, S. 8, 12-13].

Allein in Deutschland werden mehr als 99 % aller umsatzsteuerpflichtigen Unternehmen zur Gruppe der KMU gezählt, die knapp 50 % der Wertschöpfung¹ aller Unternehmen erwirtschaften. Sie stellen dabei zirka 70 % aller Arbeitsplätze bereit und etwa 80 % der Ausbildungsplätze, womit sie einen wichtigen Beitrag zu Wachstum und Wohlstand der Volkswirtschaft leisten [vgl. BMWI-Berlin, 2007, S. 16], [nach IfM-Bonn, 2007].

Die aktuelle Empfehlung der Kommission der Europäischen Gemeinschaft (EG) bezüglich der Kleinstunternehmen, kleinen und mittleren Unternehmen, die am 1. Januar 2005 in Kraft trat, definiert KMU nach der Mitarbeiteranzahl und den finanziellen Schwellenwerten der Unternehmensklassen.

In Abbildung 1.1 ist die Definition von KMU nach der Mitarbeiteranzahl und den finanziellen Schwellenwerten der Unternehmensklassen dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an die Empfehlung der Kommission (2003/361/EG), Artikel 2

Abbildung 1.1: Definition der Unternehmensklassen

Ein zentrales und qualitatives Merkmal von KMU ist die häufige Identität von Unternehmenseigentümern und deren verantwortlichem Management. Die entscheidenden Marktvorteile dieser eigen-tümergeführten Unternehmen liegen häufig in größerer Flexibilität und Reaktionsfähigkeit, Kundennähe, differenzierterer Marktbearbeitung und den zielgerichteteren Innovationsaktivitäten sowie der Spezialisierung auf bestimmte Nischen begründet. Im Vergleich zu großen Unternehmen haben sie meist ein geringeres Finanzierungspotenzial und unterliegen häufig Ressourcenbeschränkungen

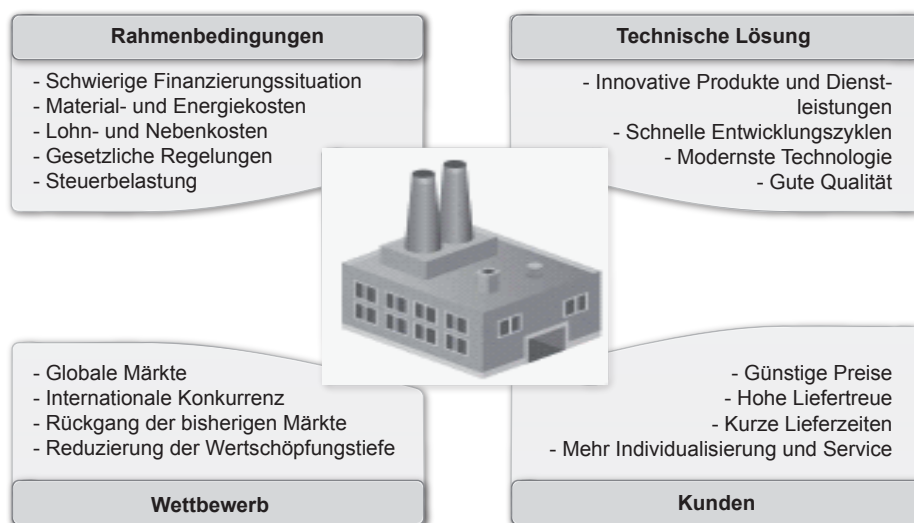
¹ *Wertschöpfung* – Als Wertschöpfung wird der Wertbildungsprozess in einem Unternehmen aufgrund der Kombination von Produktionsfaktoren (Elementarfaktoren: menschliche Arbeit, Betriebsmittel und Werkstoffe; Dispositive Faktoren: Betriebsführung sowie die daraus abgeleitete Planung und Organisation) verstanden.

sowie fehlenden freien Managementkapazitäten. Des Weiteren steht ihnen oftmals der Zugang zu neuestem Management- und Technologiewissen nur beschränkt oder gar nicht zur Verfügung [vgl. Wegmann, 2006, S. 3-9]. Begründet liegt dies darin, dass die Aktivitäten von Forschungsgemeinschaften lange nur auf die Bedürfnisse der großen Unternehmen ausgerichtet waren „... und dabei den Anliegen von KMU häufig zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde“ [nach Westkämper, 2007].

Aufgrund der Bedeutung, die KMU in der wirtschaftlichen und gesellschaftspolitischen Landschaft haben, findet hier ein Wandel statt, sodass es von besonderer Wichtigkeit ist, Innovationen zu fördern. Diese werden zu einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit führen und somit über die weitere Ansiedlung von Industrie und Gewerbe zur nachhaltigen und ökonomischen Entwicklung eines Landes und dessen Wirtschaftsraum beitragen.

Die Wettbewerbsfähigkeit von KMU, welche sich auf dem nationalen und internationalen Terrain gleichermaßen bewegen, hängt allerdings nicht nur von deren innovativen Ideen und den daraus zu entwickelnden Produkten ab, sondern in einem entscheidenden Maße auch von den Marktgegebenheiten. Etwaige Risiken, Ungewissheiten und Veränderungen bezüglich der wechselnden Marktbedingungen, politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen, neuen Technologien und unterschiedlichen Anforderungen während des Produktlebenszyklusses² stellen hierbei besonders hohe Anforderungen an die Unternehmen [vgl. Wiendahl, 2005, S. 1-8].

In Abbildung 1.2 sind die wichtigsten Einflussgrößen bezüglich der wechselnden Marktbedingungen dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 1.2: Marktgegebenheiten der Unternehmen

Resultierend aus der Internationalisierung der Märkte und der damit stärker werdenden Konkurrenz aus den osteuropäischen und asiatischen Ländern, befinden sich deutsche Unternehmen im Allgemeinen, und die KMU im Besonderen, in einem ständigen Wandel [vgl. Wegmann, 2006, S. 3-9]. Eine dabei steigende Belastung durch Personal-, Material- und Energiekosten am Standort Deutschland, wo beispielsweise im Jahr 2004 die durchschnittlichen Arbeitskosten pro geleisteter Stunde im verarbeitenden Gewerbe um zirka 55 % über dem Durchschnitt der EU lagen – in jüngster Zeit diese innerhalb der EU sogar noch günstiger geworden sind und schon im direkten Vergleich zu allen mittel- und osteuropäischen Staaten aus der Region Osteuropa in etwa das Siebenfache ausmachen –, lässt sich bei der zusätzlichen Konkurrenz aus China mit gerade einmal 4 % der vergleichbaren deutschen Arbeitskosten sehr leicht nachvollziehen [vgl. DESTATIS, 2007, S. 1].

² (Produkt-) Lebenszyklus – Der (Produkt-) Lebenszyklus entspricht der Zeitspanne, welche mit der Einführung der Produktidee beginnt und mit der Entsorgung des Produktes endet [vgl. DIN EN 13306, 2001, S. 30].

Kurze Innovationszyklen, steigende Kundenerwartungen bei höherer Individualisierung und stetig kürzer werdenden Lieferzeiten bei tendenziellem Rückgang der bisherigen Märkte – all das wirkt sich in einem zunehmenden Kostendruck auf die oftmals schwache Kapitaldecke von KMU aus [vgl. Wegmann, 2006, S. 52].

Die Berücksichtigung der ökonomischen und ökologischen Anforderungen, die Entwicklung von marktfähigen Produkten und Dienstleistungen von hoher Qualität sowie die Einbindung des verfügbaren Wissens sind zentrale Bausteine für den Unternehmenserfolg [vgl. Wiendahl, 2005, S. 1-8]. Eine stärkere Ausrichtung auf die Bedürfnisse des Kunden und damit eine schnelle Anpassung mittels neuer technologischer Entwicklungen sowie eine wachsende Anzahl von Varianten und Sonderausführungen sind notwendig und mittlerweile vielfach selbstverständlich geworden. Dies ermöglicht zwar einen Technologie- und Qualitätsvorsprung, doch die internationale Konkurrenz erfüllt die Marktbedürfnisse bereits in ähnlicher Weise, sodass sich höhere Preise auch bei den höheren Technologie- und Qualitätsstandards nicht mehr so einfach durchsetzen lassen. Als wichtiges Differenzierungsmerkmal haben sich deshalb zusätzliche Dienstleistungen etabliert, welche im Sinne von Mehrleistungen zu verstehen sind. Sie bringen häufig die entscheidenden Vorteile für die Unternehmen [vgl. Bruhn, 2006, S. 49].

Damit KMU sich trotz der schwierigen Marktgegebenheiten nicht nur kurzfristig Marktanteile sichern, sondern sich auch auf dem Markt durchsetzen können, ist es erforderlich, das Augenmerk neben den richtigen Produkten und speziell dazu entwickelten Dienstleistungen vor allem auf deren kostengünstigere Herstellung und Distribution zu richten. Dabei kommt den gewählten Unternehmensstrategien eine besondere Bedeutung zu. Eine kontinuierliche Produktivitätssteigerung durch den Einsatz von modernsten Technologien und eine ständige Verbesserung der Qualität ist dazu zwingend notwendig. Ebenso ein effektiver Nutzen³ aus dem vorhandenen technischen und organisatorischen Potenzial der verschiedenen Unternehmensbereiche [vgl. Wiendahl, 2005, S. 1-8].

Viele KMU haben aus diesem Grund ihre Unternehmensziele neu definiert und sich auf ihr Kerngeschäft und dessen Hauptgeschäftsprozesse (direkte Geschäftsprozesse) konzentriert. Notwendige Kompetenzen⁴ wurden permanent auf- und ausgebaut und Produktivitätspotenziale kontinuierlich optimiert [vgl. Kippels, 2006b, S. 13]. Im Ergebnis betreiben KMU die wichtigsten technischen Einheiten bei sich immer weiter ausdehnenden Betriebszeiten mehr und mehr an der Leistungsgrenze. Der Automatisierungsgrad⁵ stieg dabei stetig und die Lieferzeiten gegenüber den Kunden wurden verkürzt. Die Materialbestände und die Terminreserven wurden ebenso reduziert, die Vernetzung zwischen kooperierenden Unternehmen wurde enger als je zuvor [nach Scheid, 2006].

Die indirekten Geschäftsprozesse (Nebengeschäftsprozesse) sind oft durch Outsourcing⁶ an Drittunternehmen vergeben oder vernachlässigt worden, ohne dass ihr eigentliches Potenzial erkannt worden wäre [vgl. Kippels, 2006b, S. 13]. Die möglichen Auswirkungen, die dadurch speziell auf KMU zukommen können, blieben dabei meist unerkannt. Doch insbesondere dann, wenn beispielsweise vertragliche Verpflichtungen zu einer Just-in-time-Belieferung⁷ (JIT) mit der Automobilindustrie eingegangen wurden, lassen sich mögliche Konsequenzen schnell ableiten. Ob die Drittunternehmen dann überhaupt in der Lage sind, eine tatsächlich bessere, flexiblere und kostengünstigere Leistung

³ *Nutzen* – Als Nutzen sind die Fähigkeit und das Ausmaß der Eignung zu verstehen, welche zur Befriedigung eines Bedürfnisses oder zur Lösung eines Sachverhalts notwendig ist [nach Nieschlag u. a., 2002, S. 1299].

⁴ *Kompetenz* – von lat. competere – dt. zusammentreffen, ausreichen, zu etwas fähig sein; hier: als Kompetenz werden Fähigkeiten, Fertigkeiten, Wissen, Erfahrungen, Können und Methodenkenntnisse bezeichnet, mittels derer man komplexe Aufgaben bzw. Tätigkeiten organisieren und durchführen kann [nach Erpenbeck, 2009].

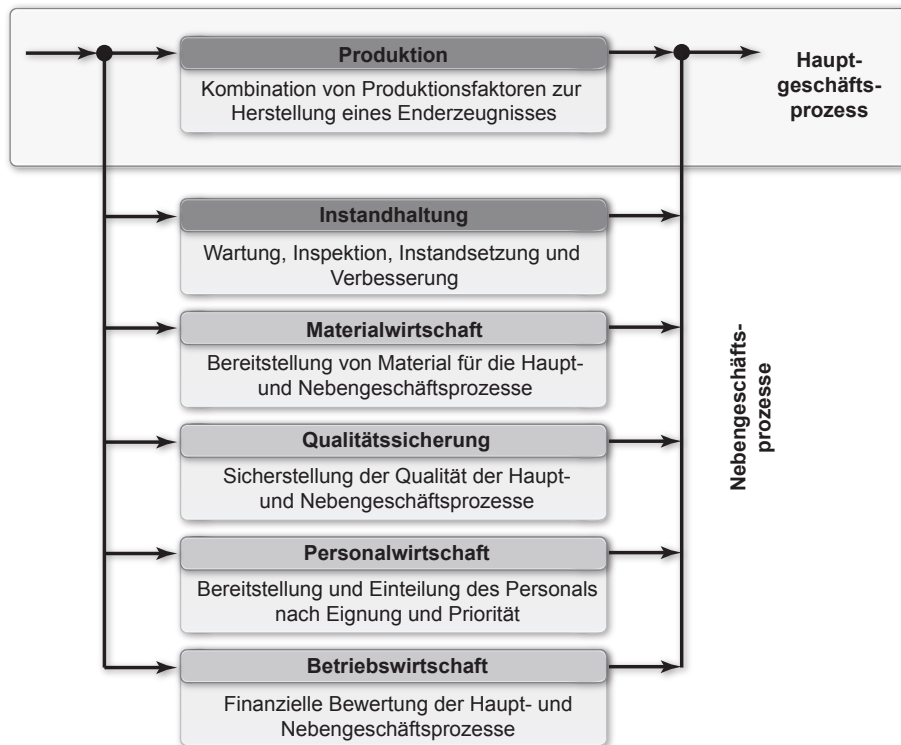
⁵ *Automatisierungsgrad* – Aufgrund des technischen Fortschritts werden bisher von Menschen durchgeführte Aufgaben auf Maschinen (technische Einheiten) übertragen. Dabei beschreibt der Automatisierungsgrad das Verhältnis der Anzahl automatisierter Aufgaben bezogen auf die Gesamtzahl aller automatisierten und manuellen Aufgaben.

⁶ *Outsourcing* – von Outside Resource Using – engl. out – dt. aus, außerhalb; engl. source – dt. Quelle, Bezugsquelle, Herkunft; hier: Auslagern – die Auslagerung einzelner Unternehmensprozesse an Drittunternehmen, um durch den Fremdbezug von bisher intern erbrachter Leistung einen Qualitäts- bzw. Kostenvorteil zu erlangen.

⁷ *Just-in-time-Konzept (JIT)* – von engl. just in time – dt. rechtzeitig, zum richtigen Zeitpunkt; hier: ein Konzept zur Materialbereitstellung, welches der Bedarfserfüllung zum richtigen Zeitpunkt, in der geforderten Qualität und Menge am vorbestimmten Ort dient. Dabei ist eine Reduzierung der Zwischenlager und eine allgemeine Rationalisierung des Produktionsprozesses beabsichtigt.

für die überaus wichtigen Nebengeschäftsprozesse zu erbringen, ist nicht mit Sicherheit geklärt [vgl. Kippels, 2006b, S. 13].

In Abbildung 1.3 ist der Hauptgeschäftsprozess am Beispiel eines Produktionsunternehmens mit seinen wichtigsten Nebengeschäftsprozessen dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 1.3: Haupt- und Nebengeschäftsprozesse eines Produktionsunternehmens

Für viele KMU haben aber gerade die Nebengeschäftsprozesse eine existentielle Bedeutung. Für Produktions-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen der unterschiedlichsten Branchen sind stets verfügbare und hoch effiziente technische Einheiten von größter Wichtigkeit, sodass Unterbrechungen aufgrund von Störungen oder Ausfällen möglichst zu vermeiden sind. Falls diese dennoch eintreten, haben sie häufig sehr kostenintensive Auswirkungen. Eine falsche Einschätzung von vermeintlichen Reservekapazitäten beinhaltet zunehmend Risiken, da tatsächlich kaum Reservekapazitäten vorhanden sind [nach Scheid, 2006].

Besonders kritisch wird es für KMU, die keine Redundanz⁸ zur Durchführung der notwendigen Geschäftsprozesse zur Verfügung haben und bei denen die Wertschöpfung somit ausschließlich von der Funktions- und Leistungsfähigkeit einzelner technischer Einheiten abhängig ist. Als typische Vertreter für solch kritische technische Einheiten lassen sich im Bereich der Logistik⁹ beispielsweise die automatisierten Förder-, Sortier-, Lager-, Kommissionier- und Verpackungsanlagen der innerbetrieblichen

⁸ *Redundanz* – von lat. redundare – dt. im Überfluss vorhanden sein; hier: eine oder mehrere zusätzliche, parallele technische Einheiten (vgl. Kapitel 2.2.6.2).

⁹ *Logistik* – von griech. Logos – dt. Verstand, Vernunft; griech. logo – dt. denken; hier: Logik, die Lehre vom schlüssigen und folgerichtigen Denken bzw. von den formalen Beziehungen zwischen Denkinhalten, deren Beachtung im tatsächlichen Denkvorgang für dessen *logische* Richtigkeit entscheidend ist. In der römischen Antike war der „*Logistika*“ die Bezeichnung des zuständigen Beamten für die Finanz- und Güterverwaltung und im barocken Frankreich stand *loger* – von franz. *loger* – dt. logieren, unterbringen, einquartieren oder übernachten hauptsächlich für die „*Beherbergung*“ [vgl. Jünemann, 1989, S. 4], [vgl. Schulte, 1999, S. 23]. Der Schweizer Baron Antoine-Henri de Jomini (*1779, †1869; schweizerischer General und einer der einflussreichsten Militärtheoretiker; von ihm entwickelte Lehren für militärische Taktik und Strategien prägten entscheidend die Militärdoktrinen des 19. Jahrhunderts) verwendete erstmals in der Militärtechnik den Begriff der *Logistik* für die Planung, den Transport und die Unterbringung von militärischen Truppen sowie die Nachschubversorgung mit Lebensmitteln, Material und Munition [vgl. Jünemann, 1989, S. 8], [vgl. Krampe u. Lucke, 2006, S. 17].

Materialflusstechnik – auch als technische Einheiten der Intralogistik¹⁰ bezeichnet – identifizieren. Gerade für diese technischen Einheiten steht bei den meisten KMU keine Redundanz zur Verfügung; sie sind in den Unternehmen nur einmal vorhanden [nach Weißenbach, 2008].

Technische Einheiten, die im Leistungserstellungsprozess eine bedeutende Rolle spielen, werden daher als „*Schlüsselanlagen*“¹¹ bezeichnet. Störungen oder Ausfälle von derart wichtigen technischen Einheiten können zum Ausfall des kompletten Hauptgeschäftsprozesses führen, was bei häufigem Auftreten insbesondere bei KMU die Existenz des betroffenen Unternehmens gefährden kann.

Zur Sicherstellung einer zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten leistet daher die betriebliche **Instandhaltung** als Nebengeschäftsprozess einen wichtigen Beitrag innerhalb der Wertschöpfungskette [vgl. Koether, 1993, S. 160]. Die Instandhaltung hat maßgeblichen Einfluss auf die betriebsspezifisch erforderliche Verfügbarkeit¹² der technischen Einheiten, eine hohe Produktivität¹³, geringen Ausschuss, die Einhaltung von Liefertreue¹⁴ und einen geringen Ressourcenverbrauch sowie auf die Arbeitssicherheit und einen aktiven Umweltschutz [vgl. Frick, 2006, S. 106].

Die Instandhaltung hat sich bis heute über vier Generationen entwickelt, wodurch sich verschiedene Vorgehensweisen zur Instandhaltung als Strategien, Konzepte, Methoden und Werkzeuge herausgebildet haben [vgl. Moubray, 1995, S. 1-6], [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 19-20]:

- Die **erste Generation** der Instandhaltung erstreckte sich mit all ihren Instandhaltungsaktivitäten bis in die Fünfzigerjahre des 20. Jahrhunderts hinein. Zu dieser Zeit beschränkte sich die Instandhaltung meist auf routinemäßige Reinigung, Überprüfung sowie Abschmierung der technischen Einheiten. Eine Vermeidung von Störungen oder Ausfällen wurde nicht betrieben, da auftretende Schäden als von den verantwortlichen Mitarbeitern nicht zu verhindern galten. Demzufolge fand eine wenig systematisierte und *nicht geplante Instandhaltung* (vgl. Kapitel 2.3.1.2) nur dann statt, wenn tatsächlich eine Störung oder ein Ausfall der technischen Einheiten vorlag.
- Die **zweite Generation** der Instandhaltung entwickelte sich durch den zweiten Weltkrieg. Der Bedarf an Gütern stieg stetig, während die Anzahl an verfügbaren Industriearbeitern gering war. Dies führte in den Fünfzigerjahren des 20. Jahrhunderts zu einem vermehrten Einsatz von automatisierten Handhabungssystemen¹⁵ und komplexeren technischen Einheiten. Eine fortwährende Mechanisierung der Abläufe war damit in den Industriebetrieben vorbestimmt, infolge derer es zur stärkeren Abhängigkeit von der Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten kam. Die Vermeidung von Störungen oder Ausfällen wurde immer stärker thematisiert und führte in den Sechzigerjahren des 20. Jahrhunderts zum Konzept der *geplanten* und somit *zeit- bzw. leistungsabhängigen Instandhaltung* (vgl. Kapitel 2.3.1.3). Vor allem

¹⁰ *Intralogistik* – von lat. intra – dt. innerhalb; hier: beschreibt die innerbetriebliche Logistik in Unternehmen der Industrie, des Handels sowie in öffentlichen Einrichtungen und umfasst die Organisation, Durchführung und Optimierung von innerbetrieblichen Material- und den dazugehörigen Informationsflüssen [vgl. Arnold, 2006, S. 1].

¹¹ *Schlüsselanlagen* – Als Schlüsselanlagen werden technische Einheiten verstanden, die einen essenziellen *Engpass* (engl. bottleneck – dt. Flaschenhals) bei voller Kapazitätsausnutzung in einem betrieblichen Teilbereich bzw. im kompletten Unternehmen darstellen.

¹² *Verfügbarkeit* – Die Verfügbarkeit einer technischen Einheit entspricht der Fähigkeit, eine bestimmte Anforderung in einem gegebenen Zeitrahmen zu erfüllen (vgl. Kapitel 2.2.7).

¹³ *Produktivität* – Als Produktivität wird die Ergiebigkeit eines Produktions- oder Wirtschaftsprozesses verstanden, gemessen als Verhältnis des mengenmäßigen Produktionsergebnisses zur Menge der eingesetzten Produktionsfaktoren [vgl. Wöhe u. Döring, 2008, S. 43].

¹⁴ *Liefertreue* – Als Liefertreue oder auch Lieferzuverlässigkeit wird der Grad der Fähigkeit einer Lieferstelle (Lieferanten) ausgedrückt, zu einem bestimmten Termin eine zugesagte Lieferung zeitgerecht abzuwickeln. Sie ist der Quotient aus der Anzahl der vereinbarungsgemäß durchgeführten Lieferungen und der Gesamtanzahl aller Lieferungen [vgl. ten Hompel u. Heidenblut, 2008, S. 172], [vgl. Pfohl, 2010, S. 35].

¹⁵ *Handhabungssysteme* – Als Handhabungssysteme werden technische Einheiten zum Schaffen, definierten Verändern oder zur vorübergehenden Aufrechterhaltung einer vorgegebenen Anordnung (beispielsweise räumlich, zeitlich oder auf einer Bewegungsbahn) von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskoordinatensystem verstanden [vgl. Schulte, 1999, S. 165].

die „Überholung“¹⁶ der technischen Einheiten in festgelegten Intervallen wurde dabei durchgeführt.

- Die **dritte Generation** der Instandhaltung etablierte sich zu Beginn der Achzigerjahre des 20. Jahrhunderts. Durch die Dynamik der industriellen Veränderungsprozesse bekamen Störungen oder Ausfälle von technischen Einheiten aufgrund des technologischen Fortschritts eine größere Bedeutung. Mit dem Einsatz von immer komplexeren technischen Einheiten und der Anwendung neuer Strategien in der Produktionslogistik, wie beispielsweise der Just-in-time-Belieferung (JIT), führten eine Störung oder ein längerer Ausfall an nur einem Glied der Produktionskette unweigerlich zum Stillstand des ganzen Produktionsnetzwerkes. Ebenso ernsthafte Auswirkungen wie sie etwa Störungen oder ein Ausfall einer technischen Einheit auf die Einhaltung von Qualitätstoleranzen in einem Produktionsprozess haben, ziehen beispielsweise auch Störungen nach sich, welche die Funktion von Klimaanlage in Bürogebäuden oder den Zeitplan von Transportsystemen beeinträchtigen. Mit der Einführung der *zustandsabhängigen Instandhaltung* durch Überwachung von kritischen Bauteilen und Komponenten (vgl. Kapitel 2.3.1.3) mittels computerunterstützter Sensortechnik wurden die Beurteilung der Situation und eine intensivere Analyse der Ausfallursachen und -wirkungen unter Anwendung von Expertensystemen möglich.
- Die inzwischen **vierte Generation** der Instandhaltung geht über die Aufrechterhaltung des Betriebes und die Sicherstellung einer betriebspezifisch erforderlichen Verfügbarkeit und einer zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten hinaus. *Verbesserungsmaßnahmen*, die technische Änderungen beinhalten, dienen der Steigerung der Produktivität bzw. der Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten. Besonders komplexe und verkettete technische Einheiten werden inzwischen oft außerhalb der normalen Betriebszeit instand gehalten, um eine möglichst störungsfreie Nutzung zu gewährleisten. Mit Hilfe von *Zuverlässigkeits- und Risikostudien*, wissensbasierten Datenbanken und durch moderne Informations- und Kommunikationsnetzwerke wird zudem eine möglichst *ganzheitliche Instandhaltung* (vgl. Kapitel 2.3.1.4) betrieben, um den Anforderungen einer modernen Instandhaltung weitestgehend gerecht zu werden.

In Abbildung 1.4 ist die Entwicklung der Instandhaltung dargestellt.

Die Instandhaltungstheorie befasst sich mit all den verschiedenen Vorgehensweisen zur Instandhaltung der einzelnen Generationen. Auch heute noch finden alle Vorgehensweisen in der betrieblichen Praxis ihre Anwendung. Jedoch reichen die verschiedenen Vorgehensweisen zur Instandhaltung der ersten und zweiten Generation nicht immer aus, sodass vermehrt die Vorgehensweisen der dritten und vierten Generation zum Einsatz kommen.

Bei KMU haben sich meist nur die Vorgehensweisen zur Instandhaltung der ersten, bestenfalls der zweiten Generation etabliert. Eine zu geringe Gewichtung der Instandhaltung im Zielsystem der Unternehmen – wenn überhaupt bewusst vorhanden – führt häufig zu unzureichenden Instandhaltungsmaßnahmen, was sich wiederum durch vermehrte Engpässe in der Wertschöpfung der direkten Geschäftsprozesse ausdrückt [nach Scheid, 2006]. Darüber hinaus wird insbesondere bei KMU der Begriff „Instandhaltung“ vielfach durch den Begriff „Reparatur“¹⁷ ersetzt. Dadurch liegt bei KMU die Vermutung nahe, dass erst bei Auftreten einer Störung oder beim Ausfall einer technischen Einheit eine *Reaktion* erfolgt und die notwendigen Maßnahmen eingeleitet werden [nach Weißenbach, 2008]. Grundsätzlich sollte es aber das Ziel sein, sich anbahnende Probleme frühzeitig zu erkennen und rechtzeitig – bevor es zu Störungen, schwerwiegenden Schäden oder Ausfällen mit hohen

¹⁶ *Überholung* – Die Überholung beinhaltet systematische Instandsetzungsmaßnahmen zum schrittweisen Austausch von Komponenten, deren Gebrauchsdauer endet, oder die Wiederherstellung der Komponenten bzw. zur Wiederherstellung von Abnutzungsvorräten, um die geforderte Funktion einer technischen Einheit wieder zu gewährleisten. Änderungen einer technischen Einheit oder Verbesserungsmaßnahmen werden dabei ebenfalls berücksichtigt [vgl. DIN EN 13306, 2001, S. 25].

¹⁷ *Reparatur* – reparieren – Als Reparatur werden lediglich „Physische Maßnahmen, die ausgeführt werden, um die geforderte Funktion einer fehlerhaften Einheit wiederherzustellen“ [vgl. DIN EN 13306, 2001, S. 26], bezeichnet.

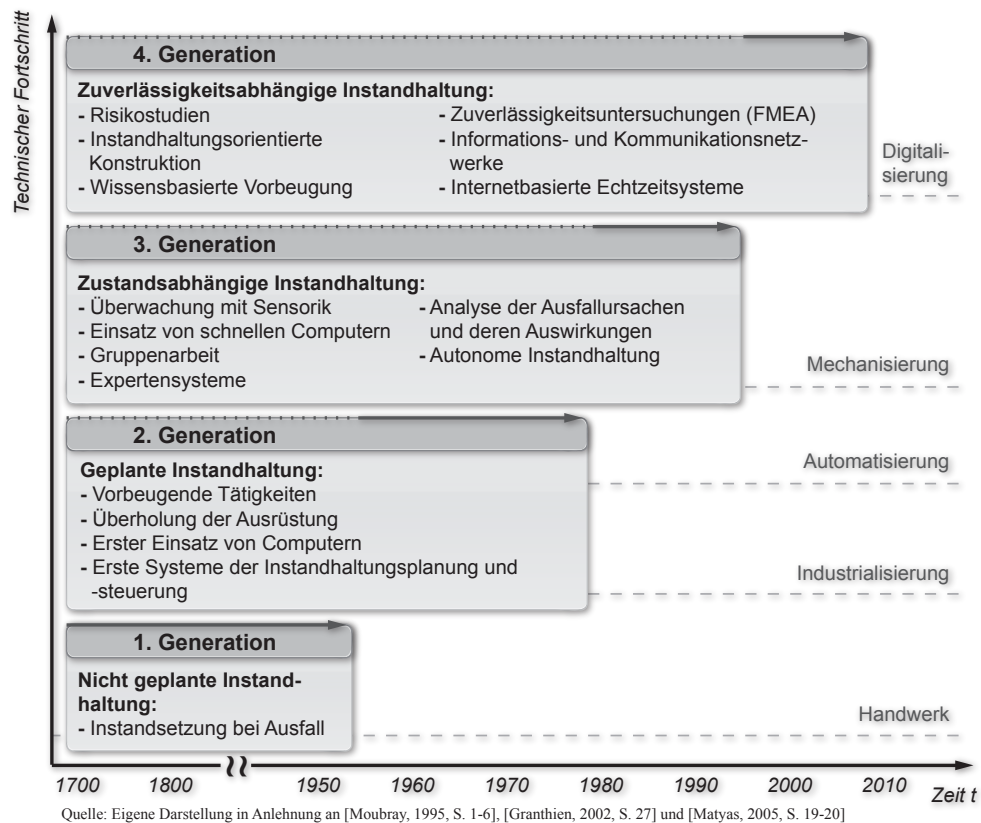


Abbildung 1.4: Entwicklung der Instandhaltung

Ausfall- und Ausfallfolgekosten¹⁸ kommt – mit adäquaten Instandhaltungsmaßnahmen zu *agieren* [nach Scheid, 2006].

In vielen Fällen gleicht die betriebliche Instandhaltung bei KMU eher einer „*Instandhaltungswüste*“¹⁹ als einem gut funktionierenden und integralen Unternehmensprozess. Die Vorteile einer professionellen und verantwortungsbewussten Instandhaltung werden häufig nicht erkannt. Die Tatsache, dass die Instandhaltung wichtige Potenziale für Optimierungen und Einsparungen bietet, indem sie die Effektivität der technischen Einheiten erhöht und damit die Gesamtkosten reduziert, wird oft außer Acht gelassen [vgl. Weißenbach, 2008]. Die technischen Einheiten werden meist unzureichend gewartet und nur unzulänglich instand gesetzt. Längere Unterbrechungen, die sich in einer verringerten Produktivität auswirken und hohe Ausfall- und Ausfallfolgekosten verursachen, werden hingenommen, obwohl gerade kurze Durchlaufzeiten²⁰ und die Einhaltung von Liefertreue immer wichtiger werden. Neben einer Verschlechterung der Wettbewerbsfähigkeit kann die Nachlässigkeit in der Instandhaltung längere Betriebszeiten, die Vernichtung von monetären Werten der technischen Einheiten und schlussendlich Image- und Vertrauensverluste bei den Kunden nach sich ziehen [vgl. Karis, 2005, S. 11].

Angesichts der Sachlage ergeben sich für KMU vielfach Anforderungen, welche sie als eigenständige Unternehmen nicht zu bewältigen im Stande sind. Aufgrund von häufig fehlenden Instand-

¹⁸ *Ausfall- und Ausfallfolgekosten* – Die Ausfall- und Ausfallfolgekosten werden auch als „indirekte Instandhaltungskosten“ bezeichnet (vgl. Kapitel 2.3.3.2).

¹⁹ *Instandhaltungswüste* – Der Begriff „Instandhaltungswüste“ erscheint intuitiv einleuchtend und als leicht verständlich, um den als schlecht einzustufenden Zustand der betrieblichen Instandhaltung in einem Unternehmen zu beschreiben, solange es auf einem sehr niedrigen Niveau stattfindet.

²⁰ *Durchlaufzeit* – Als Durchlaufzeit wird die Zeitspanne bezeichnet, die bei der Erstellung einer Leistung (beispielsweise die Produktion eines Erzeugnisses) zwischen dem Beginn des ersten und dem Abschluss des letzten Arbeitsvorganges verstreicht. Die Durchlaufzeit ist definiert als die Summe der Bearbeitungs-, Transport- und Warte- bzw. Liegezeiten auf allen Wertschöpfungsstufen [vgl. ten Hompel u. Heidenblut, 2008, S. 66], [vgl. Kummer u. a., 2009, S. 179].

haltungsressourcen²¹ erreichen viele Unternehmen nicht einmal das notwendige Niveau²² bei der Instandhaltung, um eine betriebsspezifisch erforderliche Verfügbarkeit und zuverlässige Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten sicherzustellen. Die entsprechenden Zusammenhänge sind den Unternehmen nicht immer bewusst [vgl. Kippels, 2006a, S. 19].

1.2 Zielsetzung dieser Arbeit

Die **Zielsetzung dieser Arbeit** besteht darin, unter Berücksichtigung der spezifischen Gegebenheiten von KMU, eine geeignete Möglichkeit zur Verbesserung der betrieblichen Instandhaltung zu ermitteln und deren Erfolgsaussichten und Leistungsfähigkeit zu bestimmen.

Ein denkbarer Ansatz kann dabei die „partnerschaftliche Zusammenarbeit von lokal ansässigen KMU zum Zweck der gemeinsamen Instandhaltung“ sein. Insbesondere KMU verfügen sehr oft über ähnliche technische Einheiten und kennen bei auftretenden Störungen und Ausfällen schnelle und kostengünstige Lösungen [vgl. Weißenbach, 2009, S. 11]. Zudem ist „... durch die partnerschaftliche Zusammenarbeit von Unternehmen in vielen Bereichen eine Verbesserung von bis zu 25 % möglich“ [nach Westkämper, 2007].

Zur Ermittlung einer geeigneten Möglichkeit für die betriebliche Instandhaltung bei KMU ist eine Überprüfung folgender Thesen notwendig, die sowohl Kritik an der aufgezeigten Problematik der betrieblichen Instandhaltungen als auch den Gang der Untersuchungen darstellen:

1. **These:** Die Instandhaltungstheorie unterscheidet die Unternehmen nicht nach Größe und Branchenzugehörigkeit, sondern geht immer vom Idealzustand mit ausreichend vorhandenem Instandhaltungsvermögen²³ aus. Zunehmende Trends, wie höherer Automatisierungsgrad und komplexere technische Einheiten, Mehrschichtbetrieb und vermehrte Just-in-time-Belieferungen bei abnehmenden Materialbeständen in Zwischenlagern sowie eine stetige Reduzierung von Durchlaufzeiten, erfordern jedoch spezifische Instandhaltungslösungen. Die Instandhaltungstheorie bietet dessen ungeachtet aber nur für bestimmte Unternehmen entsprechende Lösungen.
2. **These:** Die betriebliche Instandhaltung von großen Unternehmen ist in der Praxis meist erfolgreicher als die Instandhaltung von KMU. Aus organisatorisch-strukturellen und finanziellen Gründen sind KMU häufig benachteiligt. Die Instandhaltungstheorie stellt für KMU aber keine entsprechenden Lösungen zur Verfügung, sodass auch deren Erwartungen an die betriebliche Instandhaltung nicht erfüllt werden. Um dennoch wettbewerbsfähig zu sein, benötigen KMU allerdings eigene Instandhaltungslösungen. Neue Lösungen müssen dabei die spezifischen Gegebenheiten von KMU berücksichtigen und zudem den Anforderungen einer professionellen und verantwortungsbewussten Instandhaltung genügen.
3. **These:** Die partnerschaftliche Zusammenarbeit von Unternehmen spielt für die betriebliche Instandhaltung eine große Rolle. Dennoch ist unklar, inwieweit die betriebliche Instandhaltung auch Gegenstand kooperativer Beziehungen ist. Die Fremdvergabe von Instandhaltungsleistungen an Drittunternehmen stellt jedoch unabhängig von Größe und Branchenzugehörigkeit der Unternehmen eine übliche Vorgehensweise in der betrieblichen Praxis dar. Die Erörterung der theoretischen Grundlagen der partnerschaftlichen Zusammenarbeit kann darüber Aufschluss geben. In Abhängigkeit der Erkenntnisse liefert die Theorie möglicherweise entsprechende Ansatzpunkte für weitere Überlegungen.

²¹ *Instandhaltungsressourcen* – Unter Instandhaltungsressourcen werden hauptsächlich die personellen Kapazitäten mit entsprechender Fachkompetenz und notwendiger Qualifikation, aber auch Spezialwerkzeug, Betriebs- und Hilfsmittel sowie Ersatzteile usw., verstanden.

²² *Niveau* – franz. niveau – dt. waagrecht, auf gleicher Ebene, Wasserwaage; hier: als Niveau wird in diesem Zusammenhang ein gewisses Maß an qualitativ hochwertigen Aktivitäten der Instandhaltung bezeichnet.

²³ *Instandhaltungsvermögen* – Unter Instandhaltungsvermögen sind genügend personelle und technische Instandhaltungsressourcen zu verstehen, um jederzeit Instandhaltungsaufgaben fachgerecht ausführen zu können (vgl. Kapitel 2.2.4).

4. **These:** Durch Übertragung der allgemeinen Gestaltungskriterien und Merkmale kooperativer Beziehungen auf die Gegebenheiten der betrieblichen Instandhaltung ist die formale Bestimmung der kooperativen Instandhaltung möglich. Die entstehenden strukturellen Grundlagen bereiten dabei die Basis für verschiedene Vorgehensweisen der kooperativen Instandhaltung. Eine horizontale Instandhaltungskooperation ist eine derartige Vorgehensweise der kooperativen Instandhaltung und bezeichnet dabei die Bündelung von Instandhaltungsressourcen von lokal ansässigen Unternehmen zum Zweck der gemeinsamen und unternehmensübergreifenden Instandhaltung von technischen Einheiten.
5. **These:** Mit Hilfe der Gestaltungskriterien und Merkmale und anhand von Beispielen gelingt die Verknüpfung zwischen Theorie und betrieblicher Praxis. Die Erfolgsaussichten einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU sind jedoch weder in der Theorie der partnerschaftlichen Zusammenarbeit noch aus der betrieblichen Praxis bekannt – eindeutige Aussagen gibt es dazu nicht. Durch Expertenwissen lassen sich allerdings die Erfolgsaussichten einschätzen. Mit einem geeigneten Bewertungsverfahren können die Auswirkungen, die sich durch die kooperative Instandhaltung in einem Verbund von lokal ansässigen Unternehmen (Verbundinstandhaltung) im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU einstellen können, ermittelt werden. Eine horizontale Instandhaltungskooperation birgt große Potenziale – insbesondere für KMU.
6. **These:** Die Verbundinstandhaltung erfordert genaue Kenntnisse vom vorhandenen Instandhaltungsvermögen und von den instand zu haltenden technischen Einheiten der an einer horizontalen Instandhaltungskooperation beteiligten KMU. Eine Bestimmung der personellen und technischen Gegebenheiten ist daher unerlässlich. Mit Hilfe einer neu einzuführenden Technologie- und Instandhaltungskennzahl²⁴ gelingt die Klassifizierung der instand zu haltenden technischen Einheiten und eine zielgerichtete und anforderungsgerechte Zuordnung der personellen Instandhaltungsressourcen entsprechend der vorhandenen Fachkompetenzen und Qualifikationen.
7. **These:** Die Anwendung der Verbundinstandhaltung kann mit Hilfe von Fallbeispielen anhand von typischen Aufgabenstellungen der geplanten und nicht geplanten Instandhaltung entwickelt werden. Gleichzeitig lässt sich damit die Wirksamkeit der Verbundinstandhaltung demonstrieren. Durch Simulation unterschiedlicher Szenarien kann zudem die zu erwartende Leistungsfähigkeit der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU ermittelt werden. Im Vergleich zu anderen Vorgehensweisen ermöglicht die Verbundinstandhaltung langfristig eine Reduzierung der Instandhaltungskosten sowie eine Erhöhung der Verfügbarkeit der technischen Einheiten.
8. **These:** Die Optimierung der Instandhaltung birgt weitere Potenziale. Neben Lernkurveneffekten, die sich nach einiger Zeit bei den Instandhaltungsmitarbeitern der Verbundinstandhaltung einstellen können, unterstützt ein mehrstufiges Vorgehen eine angemessene Instandhaltung. Die Stabilisierung der Zuverlässigkeit durch geeignete Instandhaltungsstrategien stellt allerdings nur eine Möglichkeit der Optimierung dar. Zahlreiche andere Maßnahmen der Instandhaltung tragen ebenfalls zur Erhöhung der Verfügbarkeit der technischen Einheiten bei. Allesamt führen sie langfristig zu einer Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Unternehmen.

Die Untersuchungen orientieren sich an der klassischen Problemlösung, wie sie häufig im technischen Umfeld erfolgt. Dabei soll die schrittweise Herangehensweise sicherstellen, dass sowohl das bekannte theoretische Wissen angemessen umgesetzt wird als auch die Situation in der Praxis berücksichtigt wird.

Die Strukturierung, Beschreibung und Beurteilung des Lösungsansatzes erfolgt an ausgewählten Beispielen bzw. an realitätsnahen Szenarien, sodass eine spätere Transformation der bisherigen Instandhaltung hin zu einer professionellen und verantwortungsbewussten Instandhaltung bei KMU gelingt.

²⁴ *Technologie- und Instandhaltungskennzahl* – Die Technologie- und Instandhaltungskennzahl (T_{IH_k}) dient zur Klassifizierung der technischen Einheiten und drückt zudem das notwendige Qualifikationsniveau des Instandhaltungspersonals aus – sie wird im Rahmen dieser Arbeit eingeführt (vgl. Kapitel 4.5.1.3).

1.3 Forschungsfeld dieser Arbeit

In Anbetracht der aufgezeigten Problematik und gemäß der Zielsetzung dieser Arbeit sind für die Untersuchungen folgende Forschungsgebiete von zentraler Bedeutung:

- Kleinunternehmen, kleine und mittlere Unternehmen (KMU)
- Betriebliche Instandhaltung von technischen Einheiten
- Partnerschaftliche Zusammenarbeit von Unternehmen

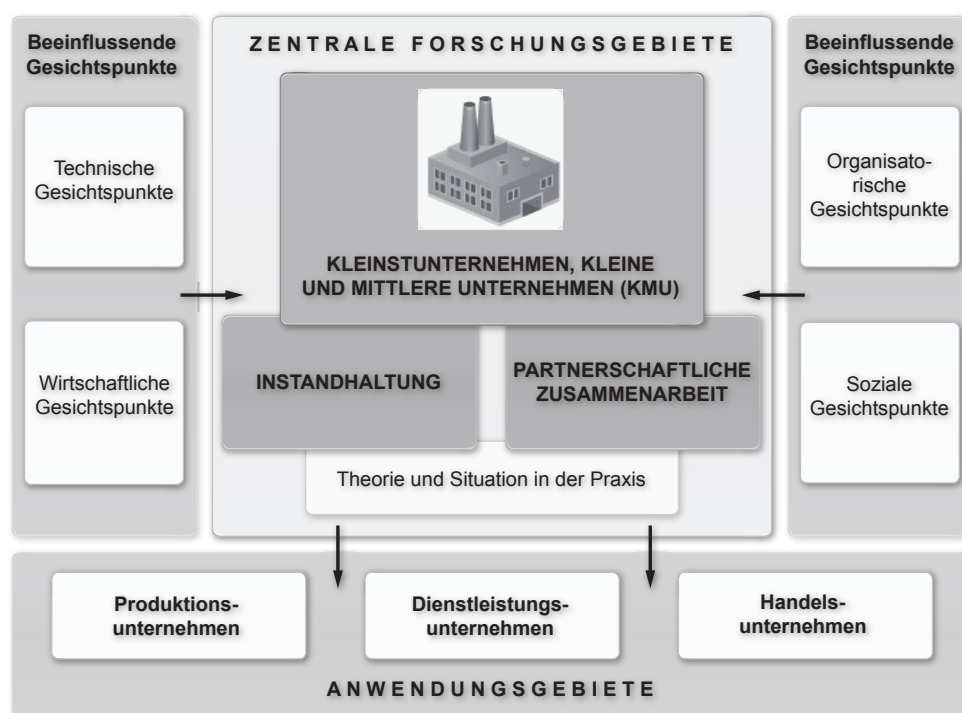
Einen wichtigen Bestandteil des Forschungsgebietes der betrieblichen Instandhaltung stellt das *Instandhaltungsmanagement* dar. Bezüglich des Forschungsgebietes der partnerschaftlichen Zusammenarbeit von Unternehmen stellen *Kooperationen* und *Netzwerke* wichtige Bestandteile dar.

Besonderes Augenmerk findet bei den Untersuchungen die Verknüpfung der verschiedenen Forschungsgebiete. Durch die partnerschaftliche Zusammenarbeit von KMU zum Zweck der gemeinsamen Instandhaltung ergeben sich in Konkurrenz zur partnerschaftlichen Zusammenarbeit mit den Herstellern von technischen Einheiten und entsprechenden Instandhaltungsdienstleistern neue Möglichkeiten für die betriebliche Instandhaltung bei KMU.

Die gemeinsame und unternehmensübergreifende Instandhaltung von kooperierenden Partnern als Betreiber von technischen Einheiten in einem Verbund wurde bislang noch nicht untersucht. Diese Möglichkeit kann allerdings eine sinnvolle Erweiterung der bisher üblichen Vorgehensweisen zur betrieblichen Instandhaltung bei KMU darstellen kann.

Beeinflusst werden dabei alle drei Forschungsgebiete durch *technische, organisatorische, wirtschaftliche* und *soziale Gesichtspunkte*. Als Anwendungsbereiche stehen *Produktions-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen* der unterschiedlichsten Branchen im Fokus der Betrachtungen.

In Abbildung 1.5 ist die Einordnung dieser Arbeit in ein Forschungsfeld dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 1.5: Forschungsfeld dieser Arbeit

2 Bestimmung der Instandhaltung

Die **Instandhaltung** trägt zur Erhaltung und Wiederherstellung des SOLL-Zustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des IST-Zustandes während des gesamten Lebenszyklusses von technischen Einheiten bei. Dabei soll die Instandhaltung eine betriebsspezifisch erforderliche Verfügbarkeit und zuverlässige Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten zu möglichst wirtschaftlich vertretbaren Kosten gewährleisten.

In Kapitel 2 werden die theoretischen Grundlagen der Instandhaltung beschrieben. Dabei wird zunächst auf die *Definition und Grundmaßnahmen* der Instandhaltung eingegangen, bevor die wichtigsten *Begriffe und Kenngrößen* erläutert werden. Des Weiteren erfolgt eine umfassende Auseinandersetzung mit dem *Instandhaltungsmanagement*, um die strategischen Prozesse sowie die organisatorische Struktur der Instandhaltung zu veranschaulichen.

Im Anschluss erfolgt eine detaillierte Analyse von verschiedenen Instandhaltungsstudien, um die betriebliche *Instandhaltung in der Praxis* zu erfassen. In Abhängigkeit der jeweiligen Unternehmensgröße wird dann eine *Bewertung der Erkenntnisse* vorgenommen, damit ein klares Verständnis zur Situation der betrieblichen Instandhaltung bei KMU möglich wird.

2.1 Definition und Grundmaßnahmen

Die **Instandhaltung** ist definiert als „*Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann*“ [DIN 31051, 2003, S. 3]. Eine **Betrachtungseinheit** ist dabei „... jedes Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, jede Funktionseinheit, jedes Betriebsmittel oder System, das für sich allein betrachtet werden kann ...“ [DIN 31051, 2003, S. 5] und bildet damit das eigentliche **Instandhaltungsobjekt**¹.

Zwischen den technischen und administrativen Maßnahmen der Instandhaltung findet eine Abgrenzung statt. Es lassen sich dabei vier **Grundmaßnahmen** voneinander unterscheiden [nach DIN 31051, 2003, S. 3-5]:

- Als **Wartung** werden alle „*Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats*“ [DIN 31051, 2003, S. 3] verstanden. All diese Maßnahmen dienen der Bewahrung des SOLL-Zustandes einer technischen Einheit, um Störungen oder gar Ausfälle zu verhindern bzw. zu mindern [vgl. Rötzel, 2005, S. 84-85].

Die Durchführung einer Wartung kann im Betrieb oder während eines Stillstandes einer technischen Einheit erfolgen und wird in regelmäßigen Intervallen² oder zustandsabhängig durch-

¹ *Instandhaltungsobjekt* – Als Instandhaltungsobjekte können verschiedenste technische (Betrachtungs-) Einheiten, beispielsweise jegliche Art von Produktionsmaschinen sowie verkettete Produktionsanlagen in Form von ganzen Produktionssystemen als auch Logistikanlagen bis hin zu komplexen Logistiksystemen oder auch nur (Einzel-) Teile dieser technischen Einheiten, verstanden werden. Im Verlauf dieser Arbeit werden deshalb die Begriffe Betrachtungseinheit, technische Einheit und Instandhaltungsobjekt synonym verwendet.

² *Intervall* – Als Intervalle werden in diesem Zusammenhang zyklische Abstände zu festgelegten Zeitpunkten oder nach einer bestimmten Anzahl an Nutzungseinheiten (Leistung), beispielsweise in bestimmten Kalenderwochen, nach erreichten Betriebsstunden, Stückzahlen, Fördermengen usw., verstanden.

geführt. Die Intervalle können dabei kontinuierlich oder diskontinuierlich sein und die Durchführung kann manuell oder maschinell erfolgen [vgl. Jacobi, 1992, S. 19], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 17].

Die Ziele von Wartungsmaßnahmen sind die Verzögerung der technischen Abnutzung³, Verringerung der Abnutzungsgeschwindigkeit, Verlängerung der Lebensdauer, Verhinderung störungsbedingter Ausfälle und Erhöhung der Arbeitssicherheit [vgl. Jacobi, 1992, S. 19], [vgl. Rötzel, 2005, S. 84-85].

- Zur **Inspektion** zählen alle „*Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des IST-Zustands einer Betrachtungseinheit einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung*“ [DIN 31051, 2003, S. 3].

Eine Inspektion dient der Gewinnung von Informationen über den aktuellen Zustand einer technischen Einheit und unterstützt damit die Planung und Steuerung von Instandhaltungsmaßnahmen in Bezug auf Häufigkeit, Zeitpunkt und Umfang der Wartung sowie der geplanten Instandsetzung [vgl. Jacobi, 1992, S. 21-23], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 18].

Zu beachten ist bei einer Inspektion, dass Tätigkeiten, welche durch Gesetze und Vorschriften ausgelöst werden und nur einen bestimmten Zustand bestätigen, beispielsweise die Abnahme des Technischen Überwachungsvereins e.V. (TÜV), als **Konformitätsprüfung** bezeichnet werden und nur einen Teilaspekt der Inspektion darstellen [vgl. DIN EN 13306, 2001, S. 13], [vgl. DIN 31051, 2003, S. 4].

- Unter **Instandsetzung** werden alle „*Maßnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand, mit Ausnahme von Verbesserungen*“ [DIN 31051, 2003, S. 4] verstanden. Diese Maßnahmen untergliedern sich in das *Ausbessern* (Instandsetzung durch Bearbeiten) und in das *Austauschen* (Instandsetzung durch Ersetzen) [vgl. Jacobi, 1992, S. 23], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 19-20].

Eine Strukturierung von Instandsetzungstätigkeiten erfolgt anhand des Zeitpunkts und der Planbarkeit der Maßnahmen. Der Zeitpunkt ergibt sich intervallabhängig, wobei die Maßnahmeneinleitung in Abhängigkeit von Zeit, Betriebszyklen, Stückzahl oder aufgrund des festgestellten Zustands erfolgt. Eine weitere Möglichkeit ist die schadensbedingte Durchführung nach dem Eintritt eines Schadens [vgl. Jacobi, 1992, S. 24].

Die Maßnahmen einer *geplanten Instandsetzung* werden nach Art, Zeitpunkt und Umfang geplant und durchgeführt, bevor ein Schaden eintritt. Dies erfolgt intervall- oder zustandsabhängig aufgrund von Kenntnissen über Verschleiß- und Ausfallverhalten einer technischen Einheit. Bei der *vorbereiteten Instandsetzung* sind Art und Umfang geplant, allerdings ist der Zeitpunkt offen. Die *nicht geplante Instandsetzung* kennt hingegen weder Art und Umfang noch Zeitpunkt der Maßnahmendurchführung [vgl. Jacobi, 1992, S. 25], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 20].

Die Durchführung einer geplanten Instandsetzung beginnt mit dem Stillsetzen der technischen Einheit. Nach der Demontage erfolgt eine Ausbesserung oder ein Austausch der betroffenen Bauelemente, Geräte, Teilsysteme oder Funktionseinheiten. Den Abschluss der Instandsetzung bilden die Montage, das Einstellen und Justieren sowie ein Funktionstest der instandgesetzten technischen Einheit [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 19-20].

Eine *nicht geplante Instandsetzung* beginnt im Falle einer Störung ebenfalls mit dem Stillsetzen der technischen Einheit; im Falle eines Ausfalls kommt es dabei gleich zur Demontage der technischen Einheit. Nach der Ursachensuche der Störung oder des Ausfalls erfolgt wiederum eine Ausbesserung oder ein Austausch der betroffenen Bauelemente, Geräte, Teilsysteme oder Funktionseinheiten. Auch hier bilden die Montage, das Einstellen und Justieren sowie ein

³ *Abnutzung* – Als Abnutzung versteht man die Substanz-, Wert- oder Qualitätsminderung einer Sache, die durch deren Gebrauch herbeigeführt wird (vgl. Kapitel 2.2.1).

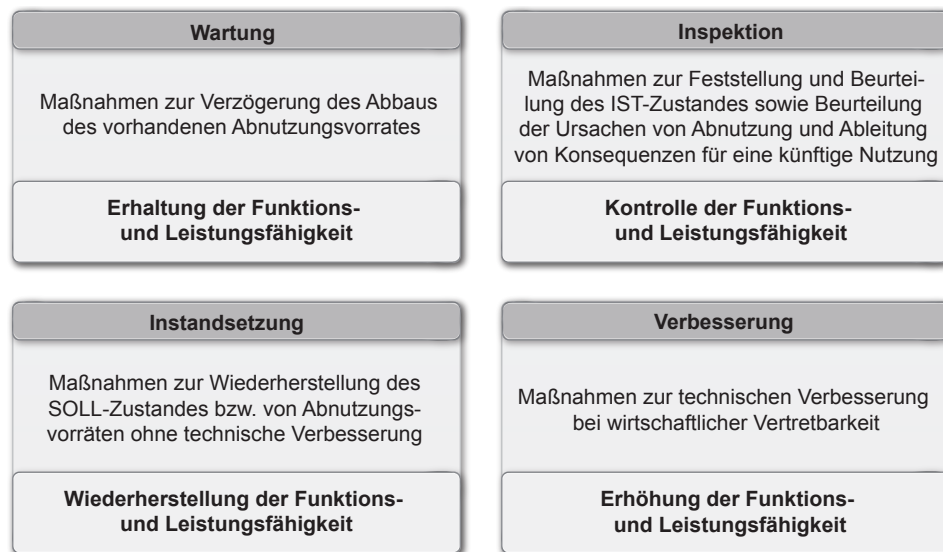
Funktionstest der instandgesetzten technischen Einheit den Abschluss der Instandsetzung [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 19-20].

- Als **Verbesserung** wird die „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Funktionssicherheit einer Betrachtungseinheit, ohne die von ihr geforderte Funktion zu ändern“ [DIN 31051, 2003, S. 4] bezeichnet. Unter der Funktionssicherheit ist allerdings ein „Sammelbegriff zur Beschreibung der Verfügbarkeit und der Einflussfaktoren: Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit und Instandhaltungsvermögen“ [vgl. DIN EN 13306, 2001, S. 10] zu verstehen.

Die Verbesserung dient der Ausweitung des Nutzungspotenzials, der Modernisierung und der Erhöhung der Leistungsfähigkeit einer technischen Einheit. Durch eine Steigerung der Funktionssicherheit sind mögliche Einsparungen in der Wartung und Inspektion über einen mittel- bis langfristigen Zeitraum zu erreichen. Zudem kann die Verbesserung einer technischen Einheit auch als wirtschaftlich günstigere Alternative gegenüber einer Neuinvestition angesehen werden [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 19-20], [vgl. Granthien, 2002, S. 21-22].

Zu beachten ist, dass Maßnahmen zur Verbesserung keine Änderung oder Modifikation einer technischen Einheit beinhalten, da diese Maßnahmen ansonsten „... eine Änderung der geforderten Funktion einer Einheit in eine neue geforderte Funktion ...“ [DIN EN 13306, 2001, S. 27] bewirken würden und somit „... einen Einfluss auf die Funktionssicherheit oder die Leistung der Einheit oder auf beides haben ...“ [DIN EN 13306, 2001, S. 27] könnte.

In Abbildung 2.1 sind die vier Grundmaßnahmen der Instandhaltung dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an die [DIN 31051, 2003, S. 3-5]

Abbildung 2.1: Grundmaßnahmen der Instandhaltung

2.2 Begriffe und Kenngrößen

2.2.1 Abnutzung und Abnutzungsvorrat

Die Aufrechterhaltung und Sicherung der Funktions- und Leistungsfähigkeit von technischen Einheiten ist abhängig von der Häufigkeit und Intensität der Nutzung. Der vorgegebene SOLL-Zustand einer technischen Einheit kann deshalb nicht dauerhaft bewahrt werden, da während der Nutzung in der Regel eine **Abnutzung** von einzelnen Komponenten stattfindet.

Jedem einzelnen Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, jeder Funktionseinheit steht ein individueller **Abnutzungsvorrat** zur Verfügung, der in Abhängigkeit von der Nutzung sehr unterschiedlich aufgebraucht wird und demzufolge nicht unendlich lange zur Verfügung steht.

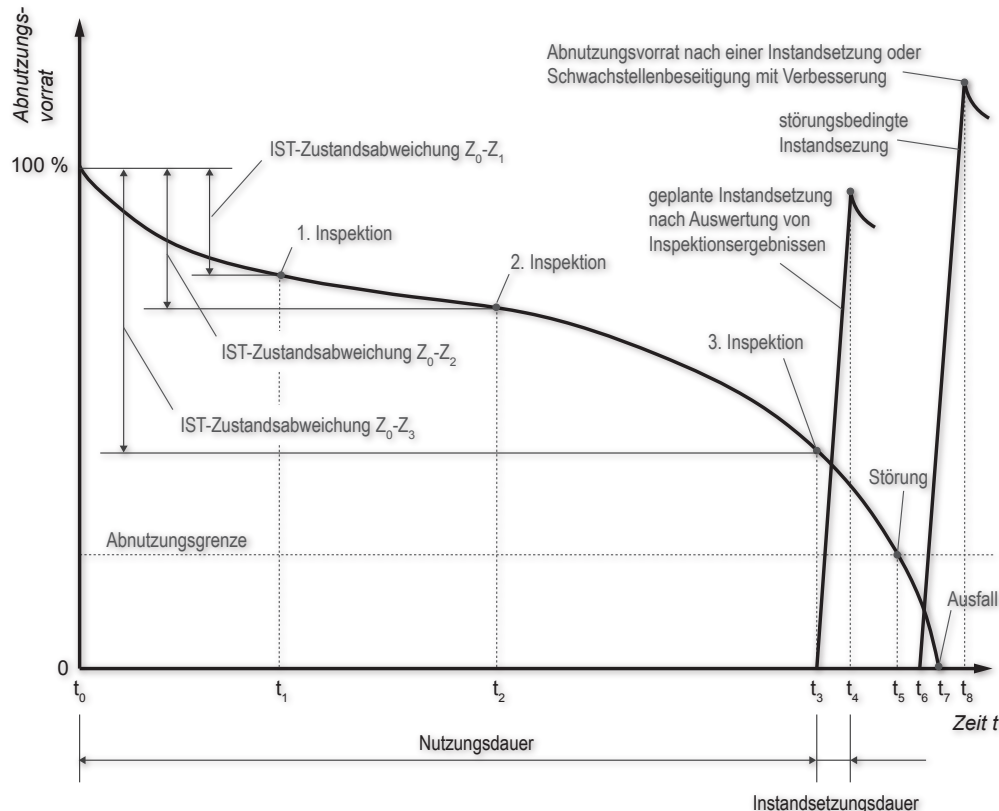
- Aufgrund der **Abnutzung** findet ein „Abbau des Abnutzungsvorrates, hervorgerufen durch chemische und/oder physikalische Vorgänge“ [DIN 31051, 2003, S. 5] statt, der sich auf die stofflich-technische Beschaffenheitsänderung bezieht. Als natürliche Abnutzung gelten mechanischer Verschleiß, Korrosion, Alterung und Ermüdung, wohingegen Abnutzungen aufgrund von Bedienungsfehlern als nicht natürliche Abnutzungserscheinungen verstanden werden.

Die mögliche Folge der Abnutzung bzw. einer Abnutzung über die Abnutzungsgrenze hinweg, kann sich durch zunehmenden Ausschuss bzw. notwendige Nacharbeit ausdrücken, technische Schäden oder einen Ausfall einer technischen Einheit bewirken [vgl. Rötzel, 2005, S. 16].

- Als **Abnutzungsvorrat** wird dabei der „Vorrat der möglichen Funktionserfüllungen unter festgelegten Bedingungen, der einer Betrachtungseinheit aufgrund der Herstellung, Instandsetzung oder Verbesserung innewohnt“ [DIN 31051, 2003, S. 5] verstanden. Allerdings basiert der Abnutzungsvorrat ausschließlich auf einem *theoretischen Gedankenmodell* und trifft deshalb nicht für jeden Fall gleichermaßen zu. Störungen und Ausfälle von technischen Einheiten können daher auch ohne starke Abnutzung und rein zufällig erfolgen (vgl. Kapitel 2.2.6.3).

Bei der Erstinbetriebnahme einer technischen Einheit wird davon ausgegangen, dass ein vorhandener Abnutzungsvorrat von 100 % zur Verfügung steht, der sich während des Betriebes verringert, woraus sich eine Abweichung zum SOLL-Zustand ergibt [vgl. Jacobi, 1992, S. 18].

In Abbildung 2.2 ist der Verlauf des Abnutzungsvorrats rein qualitativ dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an die [DIN 31051, Juni 2003, S. 5] und [Kneip, 2004, S. 140]

Abbildung 2.2: Verlauf des Abnutzungsvorrats

2.2.2 Ersatzteile

Als **Ersatzteile** werden alle Teile, Bauelemente oder Funktionseinheiten bezeichnet „... die dazu bestimmt sind, beschädigte, verschlissene oder fehlende Teile, Gruppen oder Erzeugnisse zu ersetzen“ [DIN 24420, 1976, S. 1], um die ursprüngliche Funktion einer entsprechenden Betrachtungseinheit wieder herzustellen [vgl. DIN EN 13306, 2001, S. 11].

Eine Untergliederung von Ersatzteilen kann dabei wie folgt stattfinden:

- Als **Reserveteile** werden Ersatzteile bezeichnet, die einer oder mehreren technischen Einheiten zugeordnet sind, in diesem Sinne nicht selbständig genutzt, zum Zwecke der Instandhaltung disponiert und bereitgehalten werden und in der Regel *wirtschaftlich* instand gesetzt werden können [vgl. DIN EN 13306, 2001, S. 11]. Reserveteile haben meistens einen hohen Wert und sind daher oft nur mit einem geringen Bestand in den Unternehmen vorrätig [vgl. Biedermann, 2008, S. 3]. Für Reserveteile liegen meist keine Informationen über das Verschleiß- und Ausfallverhalten vor, da sie die Lebensdauer der technischen Einheit erreichen sollten, jedoch infolge unhervorgesehener Ereignisse, wie beispielsweise einer Havarie, vorfristig ausfallen können [vgl. Rötzel, 2005, S. 132].
- Als **Verschleißteile** werden Ersatzteile bezeichnet, die einer oder mehreren technischen Einheiten zugeordnet sind, in diesem Sinne nicht selbständig genutzt, zum Zwecke der Instandhaltung disponiert und bereitgehalten werden und deren Instandsetzung in der Regel *nicht wirtschaftlich* ist [vgl. DIN EN 13306, 2001, S. 11]. Bei Verschleißteilen lässt sich häufig die Abnutzung beobachten bzw. es liegen oftmals hinreichend genaue Informationen über das Verschleiß- und Ausfallverhalten vor, damit sie frühzeitig ausgetauscht werden können [vgl. Rötzel, 2005, S. 130].
- Als **Kleinteile** werden Ersatzteile bezeichnet, die allgemein verwendbar, vorwiegend genormt, nicht instandsetzbar und von geringem Wert sind. Meistens ist davon ein hoher Bestand in den Unternehmen vorrätig [vgl. Biedermann, 2008, S. 3].

2.2.3 Instandhaltbarkeit

Die **Instandhaltbarkeit** bezeichnet die „Fähigkeit einer Einheit, unter gegebenen Anwendungsbedingungen in einem Zustand erhalten bzw. in ihn zurückversetzt werden zu können, in dem sie eine geforderte Funktion erfüllen kann, wobei vorausgesetzt wird, dass die Instandhaltung unter den gegebenen Bedingungen mit den ...“ erforderlichen „... Verfahren und Hilfsmitteln durchgeführt wird“ [VDI 4001, 2006, S. 23].

Die Instandhaltbarkeit wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst, die sich von der Konzeption und Entwicklung, Herstellung, dem Betrieb bis hin zur Instandhaltung über alle Phasen des Lebenszyklus einer technischen Einheit erstrecken.

Eine Auswahl an Merkmalen für die Instandhaltbarkeit sind im Folgenden dargestellt [vgl. VDI 4004, 1986, S. 5]:

- | | |
|---|---|
| • Zugänglichkeit | • Austauschbarkeit |
| • Standardisierung/Modularisierung | • Vorhandensein geeigneter Darstellungselemente |
| • Überwachbarkeit | • Sicherheit des Instandhaltungspersonals |
| • Prüfbarkeit | |
| • Leichte Justier- und Kalibrierbarkeit | |

2.2.4 Instandhaltungsvermögen

Das **Instandhaltungsvermögen** ist die „Fähigkeit einer Instandhaltungsorganisation, die richtige Instandhaltungsunterstützung am Ort, an dem sie gebraucht wird, um die erforderliche Instandhaltungstätigkeit zu einem gegebenen Zeitpunkt oder während eines gegebenen Zeitintervalles auszuführen, zur Verfügung zu stellen“ [DIN EN 13306, 2001, S. 10].

Im Allgemeinen bedeutet dies, dass eine Instandhaltungsorganisation hinreichende personelle und technische Instandhaltungsressourcen bereitstellen muss, um die entsprechenden Instandhaltungstätigkeiten termingerecht und für das Betreiberunternehmen einer technischen Einheit zu akzeptablen Instandhaltungskosten durchführen zu können.

2.2.5 Instandhaltungsrate

Die **Instandhaltungsrate** stellt das Verhältnis von einem jährlichen Instandhaltungsaufwand in Form der direkten Instandhaltungskosten⁴ bezüglich einer technischen Einheit zu deren Anschaffungswert dar und wird durch folgende Gleichung (2.1) ausgedrückt [nach Warnecke u. Bauer, 1992, S. 5], [nach Schenk u. Wirth, 2004, S. 311], [vgl. Stender, 2007, S. 453-458]:

$$\mu = \frac{\text{Jährlicher Instandhaltungsaufwand}}{\text{Anschaffungswert}} \cdot 100 \% \quad (2.1)$$

Um eine Vergleichbarkeit der Instandhaltungsrate zu gewährleisten, wäre es allerdings sinnvoller den *Wiederbeschaffungswert*⁵ einer technischen Einheit zu verwenden. Der Anschaffungswert bezieht sich in der Regel nur auf den Zeitpunkt der Anschaffung und nicht auf den aktuellen Zeitpunkt der Betrachtung – eventuelle Preissteigerungen sind dabei nicht berücksichtigt.

In Tabelle 2.1 sind Beispiele zur Instandhaltungsrate von technischen Einheiten dargestellt.

Tabelle 2.1: Beispiele für die Instandhaltungsrate

Technische Einheiten/Instandhaltungsobjekte	Instandhaltungsrate [%]
Spanabhebende Werkzeugmaschinen	3,5-5,0
Elektrische Schaltanlagen, Elektroinstallationen	4,0-5,0
Krananlagen, Hebezeug	4,0-5,0
Druckluftversorgung- und Vakuumanlagen	4,0-5,0
Heizungsanlagen	1,5-2,5
Fabrikgebäude, Industriehochbauten	1,0-1,8

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Schenk u. Wirth, 2004, S. 311]

⁴ *Direkte Instandhaltungskosten* – Die direkten Instandhaltungskosten beinhalten den finanziellen Aufwand bezüglich der Maßnahmen zur Erhaltung, Kontrolle und Wiederherstellung sowie zur Verbesserung bzw. Erhöhung der Funktions- und Leistungsfähigkeit einer technischen Einheit (vgl. Kapitel 2.3.3.1).

⁵ *Wiederbeschaffungswert* – Als Wiederbeschaffungswert werden die Anschaffungskosten bzw. Herstellungskosten, korrigiert um Abschreibungen und Zuschreibungen entsprechend den handels- und steuerrechtlichen Bewertungsvorschriften, bezeichnet. Wird eine technische Einheit im Laufe der Zeit durch Verbesserungsmaßnahmen in ihrer Funktions- und Leistungsfähigkeit aufgewertet, so ist eine Wertkorrektur vorzunehmen, um den tatsächlichen Wiederbeschaffungswert zu erhalten.

2.2.6 Zuverlässigkeit

Die **Zuverlässigkeit** ist definiert als die „Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, während oder nach vorgegebenen Zeitspannen bei vorgegebenen Anwendungsbedingungen die Zuverlässigkeitsforderungen zu erfüllen“ [DIN 40041, 1990, S. 2].

2.2.6.1 Zuverlässigkeitskenngrößen

Eine Bewertung des Zuverlässigkeitsverhaltens von technischen Einheiten erfolgt anhand von quantifizierbaren **Zuverlässigkeitskenngrößen**. Dabei spiegeln sich stochastische bzw. statistische Zusammenhänge von Einflussfaktoren auf die Zuverlässigkeit wider [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 44]. Für die Zuverlässigkeitsbetrachtung kann daher von Bedeutung sein, zwischen *instandsetzbaren* und *nicht instandsetzbaren* technischen Einheiten zu unterscheiden [vgl. Bertsche u. a., 2009, S. 9].

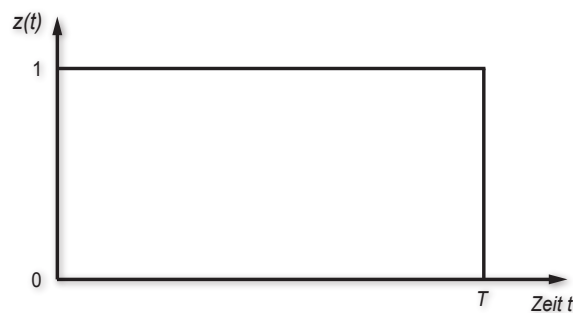
Bei *instandsetzbaren technischen Einheiten* besteht sowohl die Möglichkeit als auch die Absicht, auftretende Fehler oder Störungen zu beheben [vgl. DIN 40041, 1990, S. 1-2]. Sie können somit die beiden Zustände *funktionsfähig* oder *funktionsunfähig* (oder ausgefallen) annehmen [nach Ryll u. Freund, 2010, S. 44].

Der Zustand einer technischen Einheit (funktionsfähig oder ausgefallen) zum *Zeitpunkt* t wird dabei durch eine *binäre* oder *Boole'sche Variable* $z(t)$ charakterisiert und durch Gleichung (2.2) ausgedrückt [nach Bertsche u. a., 2009, S. 9], [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 45]:

$$z(t) = \begin{cases} 1, & \text{wenn die technische Einheit funktionsfähig ist zur Zeit } t \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (2.2)$$

Jeder Übergang einer technischen Einheit vom *funktionsfähigen* in den *funktionsunfähigen Zustand* ist aufgrund der beiden sich gegenseitig ausschließenden „Systemzustände“ durch einen zufälligen Sprungausfall gekennzeichnet. Dies bedeutet, dass in einem vernachlässigbar kleinen Zeitintervall ein Ausfall einer technischen Einheit erfolgt [nach Ryll u. Freund, 2010, S. 45].

In Abbildung 2.3 ist der Übergang einer technischen Einheit vom funktionsfähigen in den funktionsunfähigen Zustand dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Ryll u. Freund, 2010, S. 45]

Abbildung 2.3: Zustandsänderung einer technischen Einheit ohne Instandsetzung

Die *Lebensdauer* T definiert sich als die Zeitspanne von der Inbetriebnahme einer technischen Einheit bis zum ersten Ausfall, sodass sich die *Variable* $z(t)$ für eine technische Einheit ohne Instandsetzung nach einem Ausfall spezifiziert und durch Gleichung (2.3) ausdrückt [vgl. Bertsche u. a., 2009, S. 10]:

$$z(t) = \begin{cases} 1, & \text{für } t < T \\ 0, & \text{für } t \geq T \end{cases} \quad (2.3)$$

Die *Ausfallwahrscheinlichkeit* $F(t)$ einer *nicht instandsetzbaren technischen Einheit* wird durch die Verteilungsfunktion der *Lebensdauer* T beschrieben und durch Gleichung (2.4) ausgedrückt [vgl. Bertsche u. a., 2009, S. 10], [nach Ryll u. Freund, 2010, S. 45]:

$$F(t) = P(T \leq t) \quad (2.4)$$

Die *Ausfallwahrscheinlichkeit* $F(t)$ ist somit die *Wahrscheinlichkeit* P für das Eintreten eines Ausfalls im *Zeitintervall* $[0, t]$. Bei der Betrachtung einer Gesamtheit gleichartiger technischer Einheiten ergibt $F(t)$ den prozentualen Anteil derjenigen technischen Einheiten, die bis zum *Zeitpunkt* t ausgefallen sind [vgl. Bertsche u. a., 2009, S. 10], [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 45-46].

Die Funktion $F(t)$ ist eine nicht fallende Funktion von t , wobei $0 \leq F(t) \leq 1$ mit folgenden Eigenschaften gilt [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 46]:

$F(0) = 0$: das heißt, unmittelbar bei Betriebsbeginn ist nicht mit einem Ausfall zu rechnen.

$F(\infty) = 1$: das heißt, nach unendlicher Betriebsdauer ist in jedem Fall mit einem Ausfall zu rechnen; die Ausfallwahrscheinlichkeit beträgt 100 %.

In Abbildung 2.4 ist der qualitative Verlauf der Ausfallwahrscheinlichkeit $F(t)$ dargestellt.

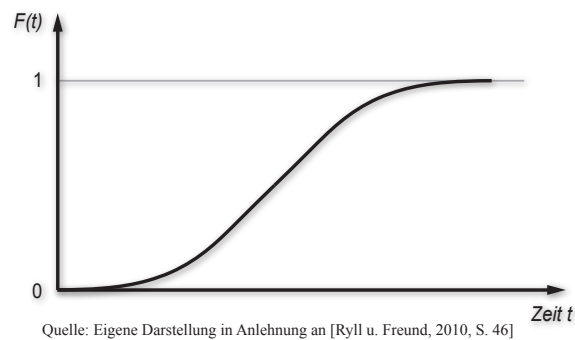


Abbildung 2.4: Verlauf der Ausfallwahrscheinlichkeit $F(t)$

Für zwei Zeitintervalle t_1 und t_2 , mit $t_1 < t_2$ wird dieser Zusammenhang durch Gleichung (2.5) und Gleichung (2.6) ausgedrückt [vgl. Bertsche u. a., 2009, S. 10], [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 46]:

$$P(T < t_2) = P(T < t_1) + P(t_1 \leq T < t_2) \quad (2.5)$$

$$P(t_1 \leq T < t_2) = F(t_2) - F(t_1) \quad (2.6)$$

Die *Überlebenswahrscheinlichkeit* $R(t)$ einer technischen Einheit steht dabei in direkter Abhängigkeit zur *Ausfallwahrscheinlichkeit* $F(t)$ der betrachteten technischen Einheit und wird durch Gleichung (2.7) ausgedrückt:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.7)$$

Die *Überlebenswahrscheinlichkeit* $R(t)$ ist somit die *Wahrscheinlichkeit*, dass im *Zeitintervall* $[0, t]$ kein Systemausfall auftritt. Bei der Betrachtung einer Gesamtheit gleichartiger technischer Einheiten ergibt $R(t)$ den prozentualen Anteil derjenigen technischen Einheiten, die bis zum *Zeitpunkt* t funktionsfähig sind [vgl. Bertsche u. a., 2009, S. 10], [nach Ryll u. Freund, 2010, S. 46].

Die Funktion $R(t)$ ist eine nicht wachsende Funktion von t , wobei $0 \leq R(t) \leq 1$ mit folgenden Eigenschaften gilt [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 46]:

$R(0) = 1$: das heißt, unmittelbar bei Betriebsbeginn befindet sich das System in einem funktionsfähigen Zustand.

$R(\infty) = 0$: das heißt, nach unendlicher Betriebsdauer ist in jedem Fall mit einem Ausfall zu rechnen; die Überlebenswahrscheinlichkeit beträgt 0 %.

In Abbildung 2.5 ist der qualitative Verlauf der Überlebenswahrscheinlichkeit $R(t)$ dargestellt.

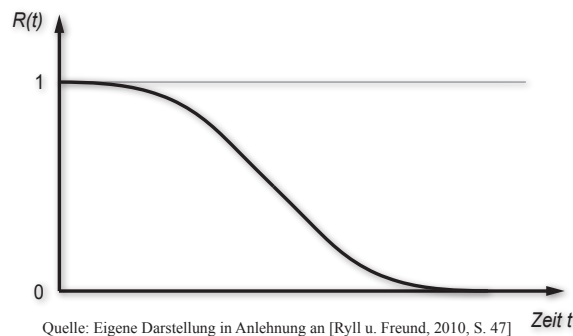


Abbildung 2.5: Verlauf der Überlebenswahrscheinlichkeit $R(t)$

Zur weiteren Beschreibung der *Lebensdauer* einer technischen Einheit dient die *Ausfalldichte* $f(t)$, die von der *Ausfallwahrscheinlichkeit* abgeleitet und durch Gleichung (2.8) ausgedrückt wird [vgl. Ben-Daya, 2009, S. 52], [nach Bertsche u. a., 2009, S. 10], [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 46-47]:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.8)$$

Für sehr kleine Zeiträume $\Delta t \rightarrow 0$ gibt die *Ausfalldichte* die *Wahrscheinlichkeit* dafür an, dass es im Zeitraum $[t, t + \Delta t]$ zu einem Ausfall kommt [vgl. Ben-Daya, 2009, S. 52], [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 47].

Aus dem Verlauf der *Ausfalldichte* $f(t)$ lassen sich dadurch folgende Eigenschaften ableiten:

- Die Fläche unterhalb der gesamten Kurve entspricht der *Ausfallwahrscheinlichkeit* $F(t)$ und ist damit gleich 1.
- Die Fläche unterhalb der Kurve **bis** zum Zeitpunkt t entspricht $F(t)$.
- Die Fläche unterhalb der Kurve **ab** dem Zeitpunkt t entspricht $R(t)$.

In Abbildung 2.6 ist die Beschreibung der Ausfalldichte $f(t)$ dargestellt.

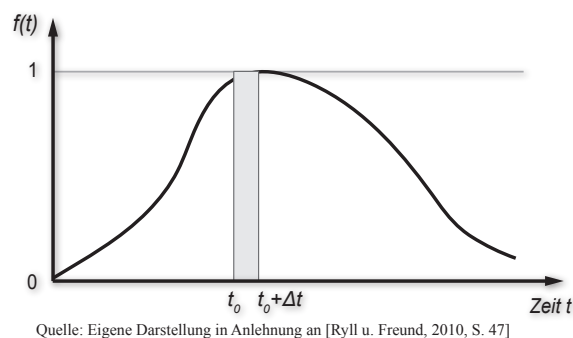


Abbildung 2.6: Beschreibung der Ausfalldichte $f(t)$

Die Bestimmung der *Ausfallrate* $\lambda(t)$ ermöglicht Aussagen über die *Wahrscheinlichkeit des Ausfalls* einer technischen Einheit in einem bestimmten, sehr kleinen *Zeitraum* $[t, t + \Delta t]$ unter der Voraussetzung, dass die technische Einheit bis zu diesem Zeitpunkt noch *funktionsfähig* war [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 48]. Dieser Zusammenhang wird durch Gleichung (2.9) ausgedrückt:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.9)$$

Anhand von *Stichproben* aus den Lebensdauerangaben einer technischen Einheit kann die *Ausfallrate* geschätzt werden. Falls zu einem Zeitpunkt $t = 0$ eine bestimmte Anzahl gleichartiger technischer Einheiten in Betrieb genommen wurde, dann ist deren *Ausfallrate* im *Zeitintervall* $[t, t + \Delta t]$ in der Näherung gleich dem Quotienten aus der Anzahl der im *Zeitintervall* $[t, t + \Delta t]$ ausgefallenen technischen Einheiten und der zum *Zeitpunkt* t noch funktionsfähigen technischen Einheiten [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 48].

Der *prinzipielle Verlauf der Ausfallrate* einer technischen Einheit, bezogen auf deren Betriebsdauer, kann mit Hilfe von **Ausfallratenmodellen** beschrieben werden (vgl. Kapitel 2.2.6.3).

Zur Ermittlung der Zuverlässigkeit einer technischen Einheit werden unterschiedliche Analysemethoden eingesetzt. Die **Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse** (engl. Failure Modes and Effects Analysis – FMEA) sowie die **Fehlerbaumanalyse** (engl. Fault Tree Analysis – FTA) sind dafür gut geeignet.

In Kapitel A.1 im Anhang sind die Grundlagen der beiden **Methoden zur Zuverlässigkeitsermittlung** erläutert.

Als *mittlere Lebensdauer* einer technischen Einheit bezeichnet man den *Erwartungswert der zufälligen Lebensdauer* einer technischen Einheit, die durch Gleichung (2.10) ausgedrückt wird [vgl. Ben-Daya, 2009, S. 52], [nach Bertsche u. a., 2009, S. 11]:

$$E(T) = \int_0^{\infty} t dF(t) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (2.10)$$

Da die *Lebensdauer* eine positive Zufallsvariable ist, gilt Gleichung (2.11):

$$E(T) = \int_0^{\infty} \bar{F}(t) dt \quad (2.11)$$

Die Kenngröße $E(T)$ wird bei nicht instandsetzbaren technischen Einheiten als „*Erwartungswert der Verteilung der Lebensdauern bis zum Ausfall*“ bzw. **MTTF** (engl. Mean Time To Failure) bezeichnet. Zur Beschreibung der Lebensdauer einer instandsetzbaren technischen Einheit kann dagegen die **MTTFF** (engl. Mean Time To First Failure) dienen. Die **MTTFF** gibt die *mittlere Lebensdauer einer instandsetzbaren technischen Einheit bis zum ersten Ausfall* an und entspricht so der **MTTF** für nicht instandsetzbare technische Einheiten [vgl. DIN 40041, 1990, S. 7], [nach Bertsche u. a., 2009, S. 11].

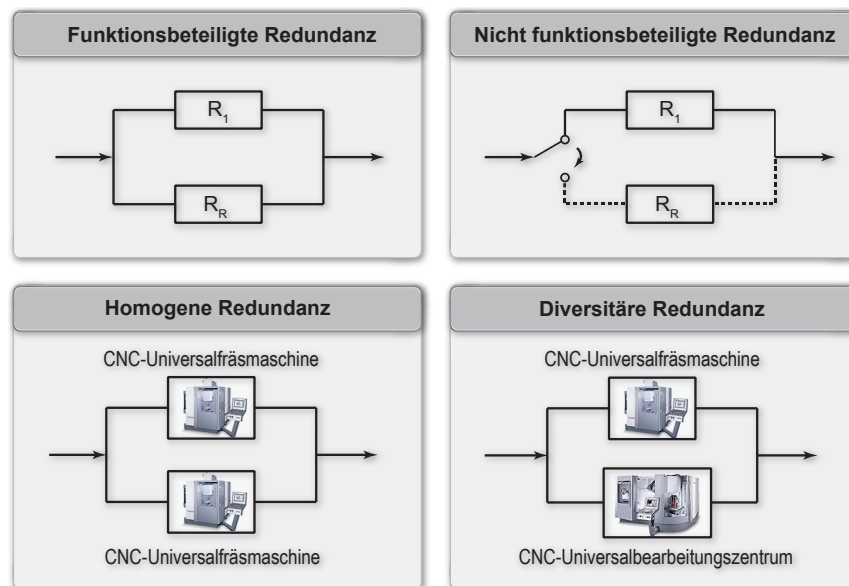
2.2.6.2 Redundanz

Als **Redundanz** wird das „*Vorhandensein von mehr funktionsfähigen Mitteln einer Einheit, als für die Erfüllung der geforderten Funktion notwendig sind*“ [DIN 40041, 1990, S. 9] [vgl. DIN EN 13306, 2001, S. 14] verstanden.

Es wird dabei zwischen vier verschiedenen **Arten der Redundanz** unterschieden [vgl. DIN 40041, 1990, S. 9-10]:

- Bei der *funktionsbeteiligten Redundanz*⁶ sind alle Mittel gleichzeitig an der Erfüllung der geforderten Funktion beteiligt.
- Bei der *nicht funktionsbeteiligten Redundanz*⁷ werden zusätzliche Mittel erst bei Versagen von bis dahin funktionsbeteiligten Mitteln an der Erfüllung der geforderten Funktion beteiligt.
- Bei der *homogenen Redundanz* sind die Mittel gleichartig.
- Bei der *diversitären Redundanz* sind die Mittel ungleichartig. Die ungleichartigen Mittel können beispielsweise andere physikalische Prinzipien, andere Lösungswege für die gleiche Funktion oder andere Auslegungen sein.

In Abbildung 2.7 sind die verschiedenen Arten der Redundanz dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an die [DIN 40041, 1990, S. 9-10]

Abbildung 2.7: Arten der Redundanz

Redundante Einheiten werden eingesetzt, wenn technische Einheiten aufgrund einer Störung die Erfüllung der geforderten Funktion nicht mehr gewährleisten können und es dadurch möglicherweise zu Zwischenfällen mit entsprechenden Auswirkungen oder Gefahren für Mensch und Umwelt kommen könnte. Dies gilt auch, wenn Instandhaltungsmaßnahmen sehr lange andauern. Wenn dadurch beispielsweise die vereinbarte Lieferzeit für das Ausbringungsgut einer technischen Einheit nicht eingehalten werden könnte, oder die Kosten für redundante Einheiten geringer wären, als die Ausfall- und Ausfallfolgekosten bei einem Stillstand einer technischen Einheit.

Die *Zuverlässigkeit* R_i von in Reihe geschalteten technischen Einheiten wird durch Gleichung (2.12) und die *Zuverlässigkeit* R_i von parallel geschalteten technischen Einheiten durch Gleichung (2.13) ausgedrückt [vgl. Meyna u. Pauli, 2003, S. 278-282]:

$$R_{\text{Reihe}} = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_n \quad (2.12)$$

$$R_{\text{Parallel}} = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2) \cdot (1 - R_3) \cdot \dots \cdot (1 - R_n) \quad (2.13)$$

⁶ *Funktionsbeteiligte Redundanz* – Die funktionsbeteiligte Redundanz wird auch als *aktive Redundanz* oder *heiße Redundanz* bezeichnet.

⁷ *Nicht funktionsbeteiligte Redundanz* – Die nicht funktionsbeteiligte Redundanz wird auch als *passive Redundanz* oder *kalte Redundanz* bezeichnet.

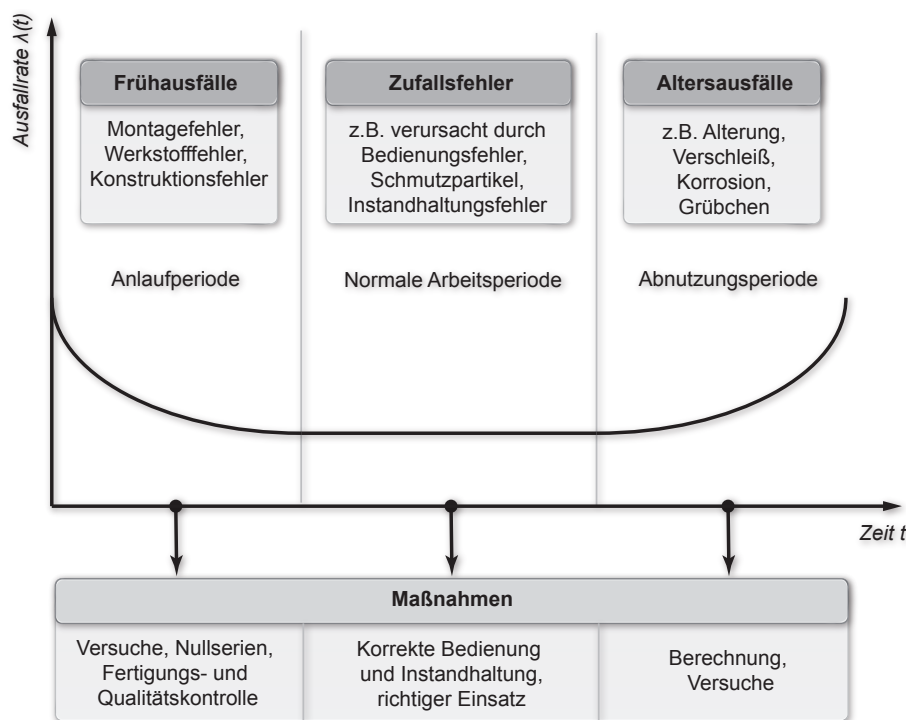
In Kapitel A.2.1 im Anhang ist an einem **Beispiel** erläutert, welchen Einfluss eine vorhandene **Redundanz** auf die Zuverlässigkeit von Systemen mit fünf technischen Einheiten haben kann.

2.2.6.3 Ausfallratenmodelle

Das **Verhalten der Ausfallrate** einer technischen Einheit kann mit Hilfe von Lebensdauertests und praktischen Erfahrungen bestimmt werden. Für nicht instandsetzbare Bauteile, Komponenten oder technische Einheiten stellte die sogenannte „**Badewannenkurve**“ lange Zeit einen idealisierten Verlauf der Ausfallrate dar [vgl. Schlick, 2001, S. 165]. Obwohl sie praktisch eine eher untergeordnete Rolle spielt und nur *ein* Ausfallratenmodell von *sechs* verschiedenen Modellen ist, beherrscht sie nach wie vor die Erklärungen des Ausfallverhaltens von technischen Einheiten [vgl. Maier, 2011, S. 97]. Die *Lebensdauer* wird dabei in die charakteristischen Phasen eines Bauteils, einer Komponente oder einer technischen Einheit unterteilt, insofern diese einer direkten Abnutzung unterliegen [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 48-49].

In Abbildung 2.8 ist das Ausfallratenmodell der sogenannten „**Badewannenkurve**“ dargestellt.

Die Dauer der jeweiligen Phase hängt dabei stark von der Beschaffenheit und Komplexität einer technischen Einheit ab. Die einzelnen Phasen können stark variieren und sich über mehrere Jahre erstrecken. Oft lassen sich schon während der Entwicklung und Herstellung eines Erzeugnisses die notwendigen Vorkehrungen treffen, die eine spätere Nutzung positiv beeinflussen.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Moubray, 1995, S. 12] und [Matyas, 2005, S. 33]

Abbildung 2.8: Ausfallratenmodell „Badewannenkurve“

Die typischen Phasen eines Bauteils, einer Komponente oder einer technischen Einheit werden im Folgenden beschrieben [vgl. Gericke, 1992, S. 118], [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 30-34]:

Frühausfälle: Eine sinkende Ausfallrate kennzeichnet die „**Anlaufperiode**“ einer technischen Einheit. Zu Beginn der Betriebszeit treten häufiger *Frühausfälle* auf, die aber mit fortschreitender Betriebszeit abnehmen. Die Ausfälle beruhen häufig auf Fehlern bei der Entwicklung und Konstruktion, der Verwendung von falschen Werkstoffen, auf Fehlern in der Fertigung oder Mon-

tage sowie auf fehlerhaften Justagevorgängen und Einstellungen. Auch fehlerhafte Bedienung aufgrund mangelnder Erfahrung mit einer technischen Einheit kann zu Frühausfällen führen.

Zufallsausfälle: Eine konstante Ausfallrate beschreibt die „*normale Arbeitsperiode*“ einer technischen Einheit. Durch Zusammenwirken verschiedener statistisch voneinander unabhängiger Faktoren, deren Umstände häufig ungünstig und die Einzelursachen meist unbekannt sind, treten *Zufallsausfälle* unvorhergesehen auf. Die Ausfälle sind dabei oft durch Bedienungs- und Wartungsfehler bzw. durch Verschmutzung bedingt.

Altersausfälle: Eine steigende Ausfallrate charakterisiert im Wesentlichen die „*Abnutzungsperiode*“ einer technischen Einheit. Aufgrund von mechanischem Verschleiß und Ermüdung kommt es zu *Altersausfällen*, welche oft auf Alterung, Materialermüdung und strukturelle Veränderung des Werkstoffes sowie auf Dauerbruch⁸ und Korrosion zurückzuführen sind.

Neben dem Ausfallratenmodell der *Badewannenkurve* gibt es für instandsetzbare technische Einheiten **weitere Ausfallratenmodelle**, die den Zusammenhang zwischen Lebensdauer und Ausfallhäufigkeit beschreiben [vgl. Moubray, 1995, S. 11-13]. Sie charakterisieren die verschiedenen **Störungsmuster**, welche in Abhängigkeit von Art und Einsatzgebiet für elektrische und mechanische Einheiten gleichermaßen Gültigkeit besitzen [nach Moubray, 1995, S. 107-116].

- **Störungsmuster A** drückt das Ausfallratenmodell der *Badewannenkurve* aus. Dabei bleibt nach anfänglichen Frühausfällen in der Anlaufperiode die Ausfallrate während der normalen Arbeitsperiode konstant. Erst nach längerer Betriebszeit kommt es in der Abnutzungsperiode vermehrt zu Altersausfällen.
- **Störungsmuster B** zeigt während der Anlaufperiode einen konstanten Verlauf der Ausfallrate, die sich auch während der normalen Arbeitsperiode nicht verändert. Nach längerer Betriebszeit kommt es auch hier in der Abnutzungsperiode vermehrt zu Altersausfällen.
- **Störungsmuster C** beschreibt über die gesamte Betriebszeit der Anlaufperiode und über die normale Arbeitsperiode bis hin zur Abnutzungsperiode einen stetigen Anstieg der Ausfallrate ohne erkennbaren Verschleiß.
- **Störungsmuster D** zeigt in der Anlaufperiode kurz nach Inbetriebnahme eine geringe Ausfallrate, die dann gefolgt von einem steilen Anstieg auf ein gleichbleibendes Niveau in der normalen Arbeitsperiode ansteigt. Während der Abnutzungsperiode verändert sich die Ausfallrate nicht, sodass kein Verschleiß erkennbar ist.
- **Störungsmuster E** kennzeichnet über die gesamte Betriebszeit der Anlaufperiode, über die normale Arbeitsperiode bis hin zur Abnutzungsperiode eine konstante Ausfallrate, sodass es nur zu Zufallsausfällen kommt.
- **Störungsmuster F** beginnt in der Anlaufperiode mit einer hohen Ausfallrate, die in der normalen Arbeitsperiode auf ein gleichbleibendes oder nur leicht ansteigendes Niveau absinkt. Während der Abnutzungsperiode führt die Ausfallrate das leicht ansteigende Niveau der normalen Arbeitsperiode fort.

In Abbildung 2.9 sind die Ausfallratenmodelle der Störungsmuster A-F dargestellt.

Zur Berechnung einer Ausfallrate für instandsetzbare technische Einheiten sind eine größere Anzahl gleichartiger technischer Einheiten notwendig, damit die *Zeiten bis zum ersten Ausfall* bzw. die *Zeiten zwischen zwei Ausfällen* betrachtet werden können. Die Ausfallrate für nur eine technische Einheit kann nicht berechnet werden [vgl. Maier, 2011, S. 97]. Verschiedene Studien in der Luftfahrtindustrie aus den Jahren 1968, 1973 und 1982 haben gezeigt, dass eine Ausfallrate insbesondere nach den Störungsmustern der **Form E** und **Form F** am häufigsten aufgetreten ist.

⁸ *Dauerbruch* – Als Dauerbruch, auch Schwingbruch oder Ermüdungsbruch bezeichnet, versteht man den Bruch eines Bauteils unter Lastwechselbeanspruchung.

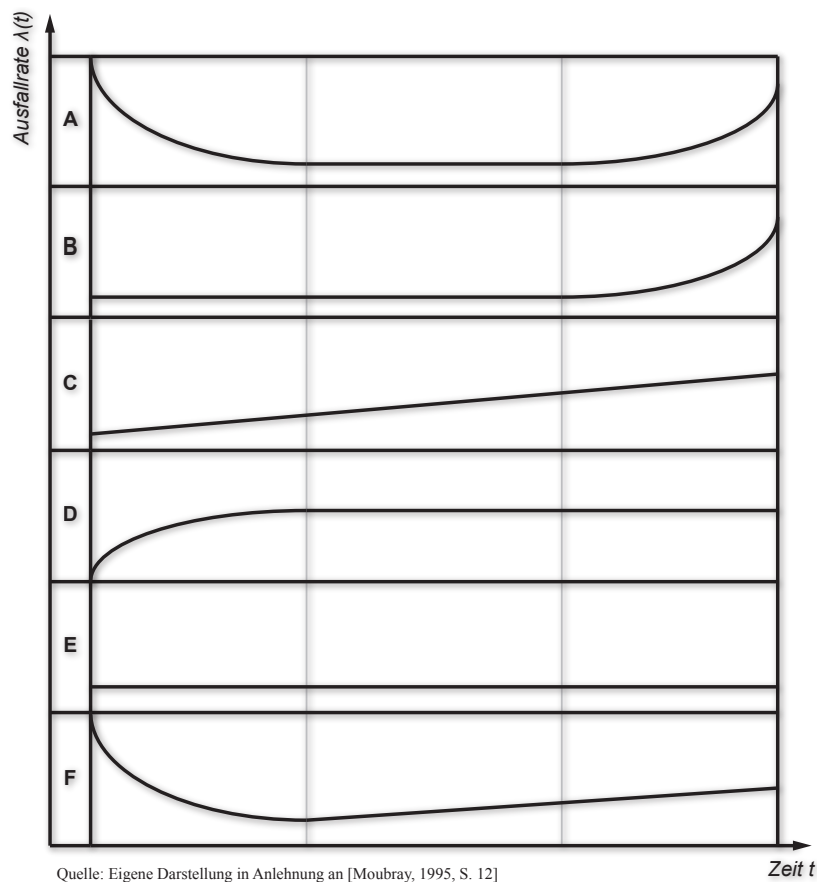


Abbildung 2.9: Verschiedene Ausfallratenmodelle

In Tabelle 2.2 sind die Ergebnisse der Studien dargestellt.

Tabelle 2.2: Häufigkeit verschiedener Ausfallratenmodelle

Störungsmuster	United Airlines (1968) [%]	Broberg (1973) [%]	U.S. Navy (1982) [%]
A	4	3	3
B	2	1	17
C	5	4	3
D	7	11	6
E	14	15	42
F	68	66	29

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Pride, 2007]

Die verschiedenen Studien erheben nicht den Anspruch auf eine unbedingte Gültigkeit für alle technischen Einheiten, dennoch zeigen sie, dass das immer noch vorherrschende und idealisierte Ausfallratenmodell der „Badewannenkurve“ nach dem Störungsmuster A schon damals eine *geringere Bedeutung* hatte. Auch wenn es für nicht instandsetzbare Bauteile, Komponenten oder technische Einheiten eine gewisse Gültigkeit besitzt, so ist doch bei instandsetzbaren technischen Einheiten mit *zunehmender Komplexität* anzunehmen, dass deren Ausfallverhalten vermehrt den *Störungsmustern E und F* zuzuordnen ist [vgl. Bertsche u. Lechner, 2004, S. 26-27].

2.2.7 Verfügbarkeit

Die **Verfügbarkeit** ist definiert als die „Fähigkeit einer Einheit, zu einem gegebenen Zeitpunkt oder während eines gegebenen Zeitintervalls in einem Zustand zu sein, dass sie eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen unter der Annahme erfüllen kann, dass die geforderten äußeren Hilfsmittel bereitgestellt sind“ [DIN EN 13306, 2001, S. 12].

Die *Fähigkeit einer technischen Einheit* hängt dabei von den kombinierten Gesichtspunkten der Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit und dem Instandhaltungsvermögen ab. Des Weiteren hängt sie davon ab, dass die erforderlichen Hilfsmittel keine Instandhaltungshilfsmittel sind und somit die Verfügbarkeit nicht beeinflussen können [vgl. DIN EN 13306, 2001, S. 12].

2.2.7.1 Begriffe der Verfügbarkeit

Zwischen den verschiedenen **Arten der Verfügbarkeit** wird wie folgt unterschieden [vgl. VDI 4001, 2006, S. 48]:

- Die **momentane Verfügbarkeit** ist die „Wahrscheinlichkeit, eine Einheit zu einem gegebenen Zeitpunkt in einem Zustand anzutreffen, in dem sie eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen erfüllen kann, vorausgesetzt, dass die erforderlichen äußeren Mittel bereit gestellt sind“ [VDI 4001, 2006, S. 48].
- Die **mittlere Verfügbarkeit** entspricht dem „Mittelwert der momentanen Verfügbarkeit während eines gegebenen Zeitintervalls $[t_1, t_2]$ “ [VDI 4001, 2006, S. 48].
- Die **stationäre Verfügbarkeit** entspricht dem „Mittelwert der momentanen Verfügbarkeit unter stationären Bedingungen während eines gegebenen Zeitintervalls“ [VDI 4001, 2006, S. 48], wobei als „stationäre Bedingungen“ zu verstehen ist, dass während der Ermittlung der Verfügbarkeit die charakteristischen Parameter einer technischen Einheit konstant bleiben [nach VDI 4001, 2006, S. 44].

2.2.7.2 Verfügbarkeitskenngrößen

Die **Kenngröße** einer instandsetzbaren technischen Einheit bezüglich der *mittleren Zeitspanne von der Instandsetzung einer technischen Einheit bis zu ihrem nächsten Ausfall* wird als **MTBF** (engl. Mean Time Between Failure) bezeichnet, wenn die technische Einheit nach der Instandsetzung wieder voll funktionsfähig ist. Als weitere Kenngröße gibt die **MTTR** (engl. Mean Time To Recovery) die *mittlere Zeitspanne der Instandsetzung bis zur Wiederherstellung der technischen Einheit* an [VDI 4001, 2006, S. 11], [nach Bertsche u. a., 2009, S. 11].

Der Zusammenhang zwischen den Verfügbarkeitskenngrößen wird durch Gleichung (2.14) und Gleichung (2.15) ausgedrückt [vgl. Meyna u. Pauli, 2003, S. 45]:

$$V(t) = P(\text{technische Einheit ist funktionsfähig zum Zeitpunkt } t) \quad (2.14)$$

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \cdot 100 \% \quad (2.15)$$

Beeinflusst wird die *Verfügbarkeit* durch die Kenngröße **MTTR**, die sehr stark im Zusammenhang mit der *Instandhaltbarkeit* einer technischen Einheit steht. Wird dabei die **MTTR** in Gleichung (2.15) durch die Kenngröße **MDT** (engl. Mean Down Time), also die *mittlere Zeitspanne der Störungsdauer einer technischen Einheit* ersetzt, so entsteht eine etwas präziserer Wert bezüglich der Verfügbarkeit

von technischen Einheiten [nach Sihn u. Specht, 1996, S.109, Kap. 10], sodass daraus Gleichung (2.16) folgt:

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \cdot 100 \% \quad (2.16)$$

Die *komplementäre Größe* zur Verfügbarkeit wird als *Nichtverfügbarkeit* $\bar{V}(t)$ oder auch *Unverfügbarkeit* $U(t)$ bezeichnet und durch Gleichung (2.17) ausgedrückt [vgl. Meyna u. Pauli, 2003, S. 45]:

$$\bar{V}(t) = U(t) = 1 - V(t) \cdot 100 \% \quad (2.17)$$

In Tabelle 2.3 sind typische Verfügbarkeitswerte von technischen Einheiten verschiedener Wirtschaftsbereiche und Branchen dargestellt.

Tabelle 2.3: Verfügbarkeitswerte verschiedener Wirtschaftszweige und Branchen

Wirtschaftszweig/Branchen	Verfügbarkeit [%]
<i>Industrie</i>	
Automobilindustrie	
- Vorfertigung	80-85
- Montage	98-99
Chemie	90-95
Metallerzeugung und -verarbeitung	80-95
Nahrungs- und Genussmittelindustrie	80-95
Maschinenbau	
- Schwermaschinenbau	60-70
- Sonstiger Maschinenbau	80-95
Stahlindustrie	75-90
Papierherzeugung	92-96
Druckindustrie	90-95
<i>Dienstleistung</i>	
Luftfahrt (Fluggerät)	94-99
Eisenbahn (Lokomotiven)	94-98
Krankenhäuser (medizinische Geräte)	98-99
Kongressgebäude/Messen (Versammlungsstätten)	85-98

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Bloß, 1995, S. 49]

In Kapitel A.2.2 im Anhang ist an einem **Beispiel** die Berechnung der **Verfügbarkeit** von technischen Einheiten erläutert.

2.3 Instandhaltungsmanagement

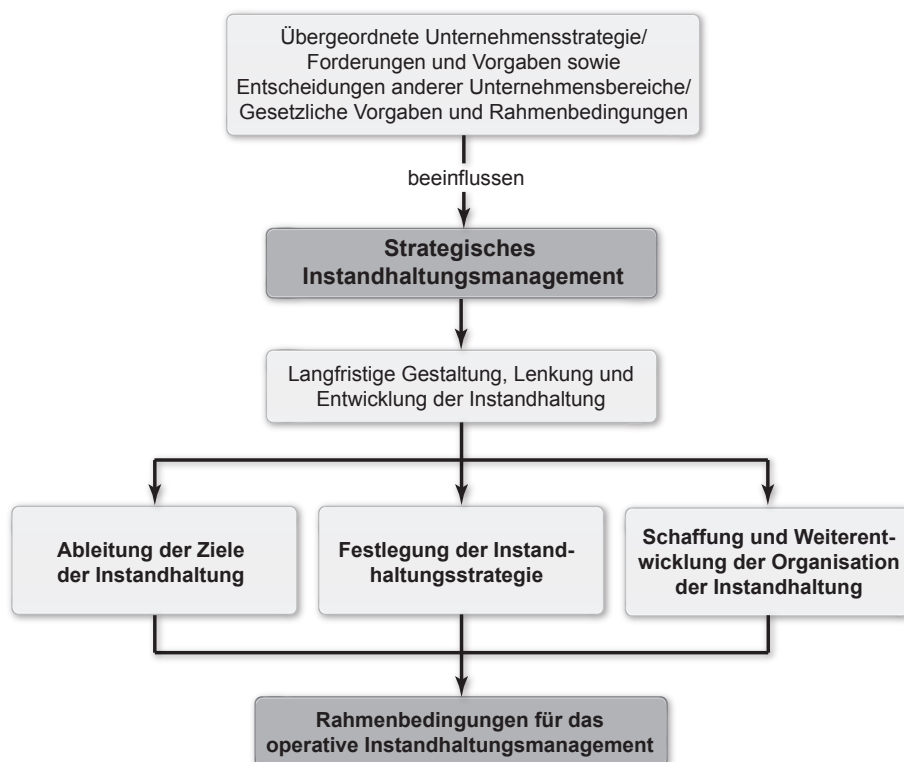
Das **Instandhaltungsmanagement** umfasst „... sämtliche Führungs- und Leitungsaufgaben in allen Betriebsebenen ...“ eines Unternehmens und beinhaltet die „Tätigkeiten der Führung, welche die Ziele, die Strategie und die Verantwortlichkeiten der Instandhaltung bestimmen und sie durch Mittel wie

*Instandhaltungsplanung, Steuerung und Überwachung und Verbesserung der Organisationsmethoden nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten verwirklichen“ [DIN EN 13306, 2001, S. 9]. Dazu findet eine Abgrenzung zwischen der Gestaltung, Lenkung, Entwicklung, Festlegung sowie der Durchführung der unterschiedlichen Aufgaben und Tätigkeiten des Instandhaltungsmanagements statt. Es ergeben sich die beiden **Schwerpunkte** Strategisches Instandhaltungsmanagement und Operatives Instandhaltungsmanagement.*

2.3.1 Strategisches Instandhaltungsmanagement

Das **strategische Instandhaltungsmanagement** befasst sich mit der *Gestaltung, Lenkung, Entwicklung und Festlegung* der Instandhaltung. Dabei werden die *Ziele der Instandhaltung* von den *Unternehmenszielen* abgeleitet und die *Strategien der Instandhaltung* zur Zielerreichung bezüglich der unterschiedlichen Instandhaltungsobjekte festgelegt [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 70-71]. Gleichzeitig werden die Voraussetzungen für die *Organisation der Instandhaltung* geschaffen und weiterentwickelt.

In Abbildung 2.10 sind die Aufgaben des strategischen Instandhaltungsmanagements dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Alcalde Rasch, 2001, S. 71]

Abbildung 2.10: Aufgaben des strategischen Instandhaltungsmanagements

Das strategische Instandhaltungsmanagement ermöglicht einen reibungslosen Vollzug des operativen Instandhaltungsmanagements innerhalb eines geschaffenen Rahmens [Lindner, 1993, S. 33-49]. Die übergeordnete Unternehmensstrategie und die unterschiedlichen Vorgaben bzw. Forderungen, die beispielsweise markt-, produkt- oder technologiegetrieben sein können, nehmen auf das strategische Instandhaltungsmanagement ebenso Einfluss wie die Verknüpfungen der Instandhaltung mit anderen Unternehmensbereichen [vgl. Bünning, 2002, S. 7].

2.3.1.1 Ziele der Instandhaltung

Die Instandhaltung trägt mit ihren technischen und administrativen Aktivitäten zum Erfolg eines Unternehmens bei. Hierzu orientieren sich die **Ziele der Instandhaltung** an den Zielen des Gesamtunternehmens. Die Instandhaltungsziele lassen sich dabei in *Hauptziele* und *Unterziele* unterteilen [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 72-73], [vgl. Bünning, 2002, S. 7-8].

Das **Hauptziel der Instandhaltung** ist die *Sicherstellung einer betriebspezifisch erforderlichen Verfügbarkeit und zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit von technischen Einheiten zu einem gegebenen Zeitpunkt bei vertretbaren Gesamtkosten*. Dabei ist die Instandhaltung auch für die Effektivität, Produktqualität, Energieeffizienz, Arbeitssicherheit und einen aktiven Umweltschutz verantwortlich.

Im Kontext des Gesamtunternehmens ist die Zielsetzung der Instandhaltung die Sicherstellung der verfügbaren Leistung der direkten Geschäftsprozesse bei hoher Wirtschaftlichkeit und die Gewinnmaximierung des Unternehmens [vgl. Slaby u. Krasselt, 1998, S. 92], [vgl. Nebl u. Prüß, 2006, S. 190].

Innerhalb der **Unterziele der Instandhaltung** erfolgt eine Aufteilung in die Kategorien der *Sachziele (Leistungsziele)*, *Formalziele (Wert-/Kostenziele)* und *Sozialziele (Humanziele)*, die sich allerdings nicht eindeutig voneinander abgrenzen lassen. Die Unterziele stehen miteinander in Beziehung und sind sowohl *ergänzend* als auch *konkurrierend* zueinander [vgl. Sihn u. Specht, 1996, S. 103-104, Kap. 10], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 75-76]:

- Die **Sachziele** (Leistungsziele) betrachten die qualitätsgerechte und schnelle Durchführung der Instandhaltung. Dabei handelt es sich um die Bereitstellung einer betriebspezifisch erforderlichen Verfügbarkeit und zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten. Neben der Gewährleistung der Betriebssicherheit steht auch die Reduzierung von Folgeschäden sowie die Verringerung des Instandhaltungsumfangs durch entsprechend gewählte Instandhaltungsmaßnahmen im Vordergrund [vgl. Bünning, 2002, S. 7-8], [vgl. Granthien, 2002, S. 20-24], [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 22].
- Die **Formalziele** (Wert-/Kostenziele) bestehen primär in der Reduzierung der entstehenden Instandhaltungskosten. Die Minimierung der Instandhaltungsrate wird durch die Optimierung des Mitarbeiter- und Materialaufwands (direkte Instandhaltungskosten) erreicht, ohne dass die Werterhaltung der technischen Einheiten vernachlässigt wird. Des Weiteren wird die Minimierung von jener Kosten angestrebt, die durch den Ausfall einer technischen Einheit indirekt entstehen oder sich aus den Folgen entwickeln (indirekte Instandhaltungskosten) [vgl. Bloß, 1995, S. 50], [vgl. Granthien, 2002, S. 20-24].
- Die **Sozialziele** (Humanziele) beziehen sich auf Entfaltungsmöglichkeiten, Mitarbeiterqualifikation, Kommunikationsverbesserung und Verringerung der Mitarbeiterfluktuation. Dabei sind die Sozialziele auf die sozialen Verhaltensweisen ausgerichtet und verfolgen mit einer an den Menschen angepassten Arbeitsumgebung eine Erleichterung der Aufgabenerfüllung. Damit wird die Einhaltung der Arbeitsschutz- und Arbeitssicherheitsvorschriften und allgemeinen Umweltvorschriften verfolgt [vgl. Bünning, 2002, S. 7-8], [vgl. Granthien, 2002, S. 20-24].

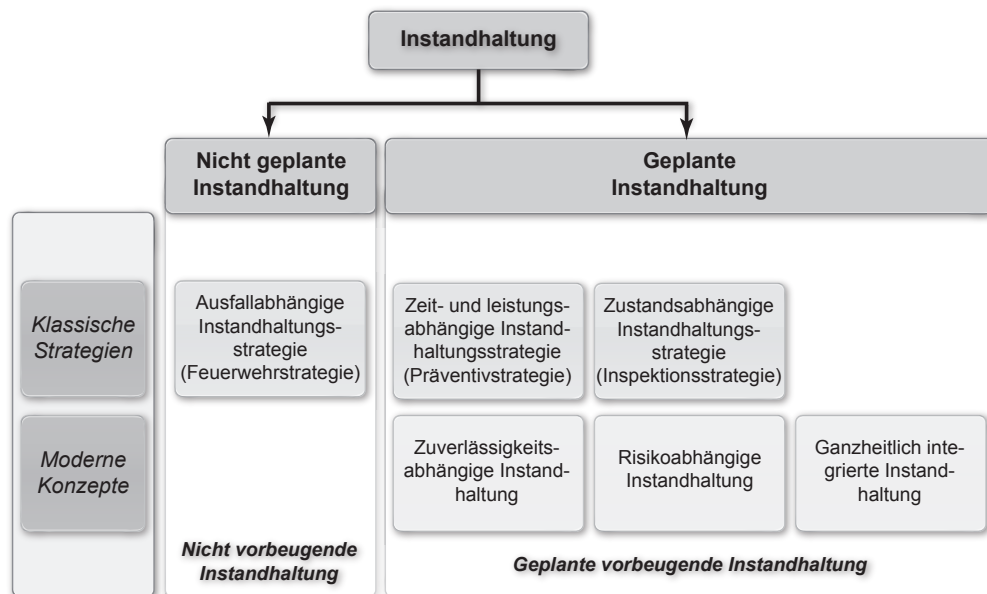
2.3.1.2 Systematik der Instandhaltungsdurchführung

Die Durchführung der Instandhaltung setzt ein systematisches Vorgehen voraus, welches sich in verschiedenen **Instandhaltungsstrategien** und in **Instandhaltungskonzepten** ausdrückt. Die Strategien und Konzepte bilden dabei ein Gerüst in Form von Richtlinien und groben Handlungsanweisungen. Sie beschreiben inhaltlich, methodisch und auf den Umfang bezogen, wie die Ziele der Instandhaltung erreicht werden können [vgl. Nebl u. Prüß, 2006, S. 197], [vgl. Gienke u. Kämpf, 2007, S. 511-513].

Die Auswahl einer geeigneten Vorgehensweise ist eine ganzheitliche Entscheidung bei der die Faktoren Unternehmens- und Produktionsziele, Verschleiß- und Ausfallverhalten der technischen Einheiten und deren Folgen sowie gegebenenfalls gesetzliche Vorschriften berücksichtigt werden müssen [vgl. Stoneham, 1998, S. 34], [vgl. Schimmelpfeng u. Steffen, 2000, S. 320-321], [vgl. Benz u. Scheiffele, 2001, S. 18-19].

Grundsätzlich werden die einzelnen Instandhaltungsstrategien und Instandhaltungskonzepte hinsichtlich ihrer *Planbarkeit* und *vorbeugenden Wirkung* strukturiert [vgl. Rötzel, 2005, S. 46-47], [vgl. Nebl u. Pruß, 2006, S. 197]. Bezüglich eines geplanten Vorgehens zur Durchführung der Instandhaltung folgen daraus *planbare* und *nicht planbare* Instandhaltungsmaßnahmen.

In Abbildung 2.11 ist die Systematik der Instandhaltungsdurchführung dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an die [DIN EN 13306, 2001, S. 21-23]

Abbildung 2.11: Systematik der Instandhaltungsdurchführung

2.3.1.3 Klassische Instandhaltungsstrategien

Für **nicht planbare Instandhaltungsmaßnahmen** ergibt sich in Bezug auf die Systematik der Instandhaltungsdurchführung eine Vorgehensweise, die im Folgenden erläutert wird:

- Bei der **ausfallabhängigen Instandhaltungsstrategie**⁹ (engl. Reactive Maintenance – RM) werden erst *nach* dem Verlust der Funktions- und Leistungsfähigkeit einer technischen Einheit entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen ergriffen [vgl. Bünning, 2002, S. 12]. Dabei wird in Kauf genommen, dass die technische Einheit zu einem unbestimmten (zufälligen) Zeitpunkt nicht zur Verfügung steht und es zu Ausfall- und Ausfallfolgeschäden kommen kann [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 87]. Ungeachtet dessen ist durch die ausfallabhängige Instandhaltungsstrategie eine vollständige Ausnutzung des Abnutzungsvorrats einer technischen Einheit möglich [vgl. Rötzel, 2005, S. 47], solange nur Instandsetzung- und keine Wartungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Die notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen werden *nicht geplant* und erfolgen immer als Reaktion auf eine Störung oder einen Ausfall. Dieses Vorgehen wird daher auch häufig als

⁹ *Ausfallabhängige Instandhaltungsstrategie* – Die ausfallabhängige Instandhaltungsstrategie wird in der Praxis auch häufig als *reaktive Instandhaltungsstrategie* bezeichnet.

Feuerwehrstrategie bezeichnet [vgl. Stoneham, 1998, S. 23], [vgl. Schimmelpfeng u. Steffen, 2000, S. 321] und kann aus technischen und wirtschaftlichen Gründen sinnvoll sein, wo technische Einheiten nicht jederzeit zur Verfügung stehen müssen und keine Schäden für Mensch und Umwelt auftreten können. Des Weiteren kann sie zweckmäßig sein, wenn durch redundante Einheiten die notwendige Verfügbarkeit gewährleistet werden kann [vgl. Rötzel, 2005, S. 47-48] oder wenn keine ausreichenden Informationen über das Verschleiß- und Ausfallverhalten der technischen Einheiten vorliegen bzw. schwer zu ermitteln sind und sich mögliche Ausfall- und Ausfallfolgeschäden in einem vertretbaren Rahmen halten [vgl. Adam, 1989, S. 69], [vgl. Granthien, 2002, S. 27], [vgl. Rötzel, 2005, S. 47-48].

Die ausfallabhängige Instandhaltungsstrategie hat verschiedene Vor- und Nachteile [vgl. Stoneham, 1998, S. 37], [vgl. Benz u. Scheiffele, 2001, S. 18-19]. Für ihre Anwendung sprechen:

- Effizienz, wenn die Strategie an ausgesuchten, nicht kritischen und nicht sicherheitsrelevanten Einheiten eingesetzt wird.
- Geringer Planungs- und Personalbedarf durch den Wegfall vorbeugender Maßnahmen.
- Volle Ausnutzung des Abnutzungsvorrates.
- Einfache Einführung und Anwendung durch geringen Ressourcen- und Informationsbedarf.

Gegen die Anwendung der ausfallabhängigen Instandhaltungsstrategie sprechen:

- Keine Planbarkeit, da Informationen über Zeitpunkt und Umfang von Instandhaltungsmaßnahmen fehlen.
- Strategie birgt hohes Risiko langer Stillstandszeiten und damit hoher Ausfall- und Ausfallfolgekosten.
- Geforderte Zuverlässigkeit kann nicht gewährleistet werden.
- Hohe Kosten für kurzfristig notwendige, nicht vorrätige Ersatzteile.

Bei den **planbaren Instandhaltungsmaßnahmen** ergeben sich in Bezug auf die Systematik der Instandhaltungsdurchführung zwei Vorgehensweisen, die wiederum im Folgenden erläutert werden:

- Die **zeit- und leistungsabhängige Instandhaltungsstrategie**¹⁰ (engl. Preventive Maintenance – PM) findet Anwendung, wenn unabhängig vom Zustand einer technischen Einheit in zyklischen Abständen¹¹ entsprechende *vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen* durchgeführt werden [vgl. Stoneham, 1998, S. 39], [vgl. Schimmelpfeng u. Steffen, 2000, S. 321], [vgl. Nebl u. Prüß, 2006, S. 197-198].

Die Instandhaltungsmaßnahmen werden bewusst – also *geplant* – und *vor* dem Verlust der Funktionsfähigkeit einer technischen Einheit ergriffen, sodass eine möglichst hohe Verfügbarkeit einer technischen Einheit gewährleistet ist und es nicht zu Ausfall- und Ausfallfolgeschäden kommt [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 88-89]. Voraussetzung ist in diesem Fall, dass ausreichende Informationen über das Verschleiß- und Ausfallverhalten der technischen Einheiten vorliegen. Nur dann können entsprechende Maßnahmen durchgeführt werden [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 88-89].

Bei fest vorgegebenen Instandhaltungszeitpunkten für die gesamte Lebensdauer einer technischen Einheit spricht man von der *periodischen Präventivstrategie* [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 88-89]. Werden die Instandhaltungszeitpunkte in Abhängigkeit von den gewonnenen Erkenntnissen der zuletzt durchgeführten Instandhaltungsmaßnahme immer wieder neu festgelegt, handelt es sich um die *sequenzielle Präventivstrategie* [vgl. Bünning, 2002, S. 12-13], [vgl. Granthien, 2002, S. 28].

¹⁰ *Zeit- und leistungsabhängige Instandhaltungsstrategie* – Als zeit- und leistungsabhängige Instandhaltungsstrategie wird vielfach auch die *vorbeugende Instandhaltungsstrategie* oder *Präventivstrategie* verstanden.

¹¹ *Zyklischer Abstand* – Als zyklischer Abstand werden in diesem Zusammenhang regelmäßig festgelegte Zeitpunkte oder eine bestimmte Anzahl an Nutzungseinheiten (Leistung), beispielsweise in bestimmten Kalenderwochen, nach erreichten Betriebsstunden, Stückzahlen, Fördermengen usw., verstanden.

Die zeit- und leistungsabhängige Instandhaltungsstrategie ist überall dort sinnvoll, wo aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eine technische Einheit jederzeit zur Verfügung stehen muss oder nicht durch redundante Einheiten eine ausreichende Verfügbarkeit gewährleistet werden kann [vgl. Rötzel, 2005, S. 47-48]. Bei technischen Einheiten, die nach gesetzlichen Vorschriften eine turnusmäßige Inspektion erfordern, wird die vorbeugende Instandhaltung vielfach angewendet [vgl. Benz u. Scheiffele, 2001, S. 18-19].

Die zeit- und leistungsabhängige Instandhaltungsstrategie hat verschiedene Vor- und Nachteile [vgl. Stoneham, 1998, S. 41], [vgl. Benz u. Scheiffele, 2001, S. 18-19]. Für ihre Anwendung sprechen:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> – Hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der technischen Einheiten. – Gute Planbarkeit, da Zeitpunkt und Umfang der Instandhaltungsmaßnahmen bekannt sind. – Rechtzeitige Einleitung und Bündelung von vorbereiteten Instandhaltungsmaßnahmen. – Durchführung zu regulären Arbeitszeiten, wodurch Kosteneinsparungen bei Lohnzuschlägen möglich sind. | <ul style="list-style-type: none"> – Bessere Überwachung der Instandhaltungstätigkeiten durch qualifizierte Mitarbeiter. – Lerneffekte, da Tätigkeiten regelmäßig wiederholt werden. – Kostensenkung für Ausfall- und Ausfallfolgeschäden durch Reduzierung unvorhersehbarer Ausfälle. – In bestimmten Fällen einfach anwendbar und profitabel. |
|--|---|

Gegen die Anwendung der zeit- und leistungsabhängigen Instandhaltungsstrategie sprechen:

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> – Hoher Aufwand zur Planung der Instandhaltungsmaßnahmen und zur Gewinnung von Informationen über das Verschleiß- und Ausfallverhalten der technischen Einheiten. | <ul style="list-style-type: none"> – Höhere Kosten, da die Lebensdauern der einzelnen Bauteile nicht vollständig ausgenutzt werden – sie werden vorher ausgetauscht. |
|---|---|

- Die **zustandsabhängige Instandhaltungsstrategie**¹² (engl. Condition Based Maintenance – CBM) erfolgt anhand des IST-Zustandes einer technischen Einheit und basiert auf der Annahme, dass Störungen oder Ausfälle nicht plötzlich eintreten, sondern sich über einen gewissen Zeitraum hinweg entwickeln [vgl. Rötzel, 2005, S. 48], [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 100-101]. Mit Hilfe von Inspektionen werden deshalb Veränderungen der Funktions- und Leistungsfähigkeit sowie die Abnutzungsgeschwindigkeit der technischen Einheiten überwacht. Stellt sich eine signifikante Verschlechterung des Zustandes ein, so werden die mittels Überwachungs- und Diagnosesystemen ermittelten Informationen zum IST-Zustand ausgewertet und einer Beurteilung unterzogen. Entsprechend der Ergebnisse werden gegebenenfalls Instandhaltungsmaßnahmen eingeleitet [vgl. Granthien, 2002, S. 28-29], [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 100-101].

Darüber hinaus erlauben die ermittelten Informationen zum IST-Zustand das Verschleiß- und Ausfallverhalten einer technischen Einheit zu bewerten und mit gezielten Instandhaltungsmaßnahmen die Ausfallwahrscheinlichkeit zu reduzieren. Somit können notwendige Instandhaltungsmaßnahmen während eines geplanten Stillstands durchgeführt werden [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 90-91]. Die genaue Kenntnis vom aktuellen Zustand einer technischen Einheit ermöglicht eine optimale Ausnutzung des Abnutzungsvorrates durch vollständige Annäherung an eine vorher festgelegte Abnutzungs- oder Schadensgrenze [vgl. Nebl u. Prüß, 2006, S. 198].

¹² Zustandsabhängige Instandhaltungsstrategie – Die zustandsabhängige Instandhaltungsstrategie wird auch als *zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie* oder *Inspektionsstrategie* bezeichnet.

Bei fest vorgegebenen Inspektionszeitpunkten über die gesamte Lebensdauer einer technischen Einheit hinweg, spricht man von der *periodischen Inspektionsstrategie*. Werden die Inspektionszeitpunkte in Abhängigkeit von den gewonnenen Erkenntnissen der zuletzt durchgeführten Instandhaltungsmaßnahme immer wieder neu festgelegt, handelt es sich um eine *sequenzielle Inspektionsstrategie*. Bei einer andauernd durchgeführten Inspektion zur kontinuierlichen Ermittlung des IST-Zustandes einer technischen Einheit spricht man von der *permanenten Inspektionsstrategie* [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 90-91].

Die Inspektionsstrategie kann aus technischen und wirtschaftlichen Gründen ebenso dort sinnvoll sein, wo eine technische Einheit jederzeit zur Verfügung stehen muss oder nicht durch redundante Einheiten eine ausreichende Verfügbarkeit gewährleistet werden kann [vgl. Rötzel, 2005, S. 47-48]. Das Risiko von Ausfall- und Ausfallfolgeschäden lässt sich durch die Inspektionsstrategie weitestgehend mindern. Gefahren für Mensch und Umwelt werden so abgewendet [vgl. Adam, 1989, S. 69], [vgl. Benz u. Scheiffele, 2001, S. 18-19].

Die zustandsabhängige Instandhaltungsstrategie bietet ebenfalls verschiedene Vor- und Nachteile [vgl. Stoneham, 1998, S. 72-73], [vgl. VDI 2888, 1999, S. 2-3], [vgl. Benz u. Scheiffele, 2001, S. 18-19]. Für die Anwendung der zustandsabhängigen Instandhaltungsstrategie bzw. Inspektionsstrategie sprechen:

- Hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit einer technischen Einheit.
- Bessere Ausnutzung der Lebensdauer einer technischen Einheit als bei der vorbeugenden Instandhaltung.
- Gute Planbarkeit, da der Zustand der technischen Einheit bekannt ist.
- Kenntnisse des Zustands tragen zur Betriebssicherheit bei.
- Entlastung von Kontrolltätigkeiten, wenn entsprechende Überwachungs- und Diagnosesysteme installiert sind.

Gegen die Anwendung der zustandsabhängigen Instandhaltungsstrategie bzw. Inspektionsstrategie sprechen:

- Erhöhter Aufwand zur Planung von häufigeren und komplexeren Inspektionen.
- Hohe Fachkompetenz zur Auswertung und Interpretation der ermittelten Messdaten notwendig.
- Mehrkosten für zusätzlich notwendige Überwachungs- und Diagnosesysteme gegenüber dem vorbeugenden Austausch von Bauteilen und Komponenten.

Keine der klassischen Instandhaltungsstrategien kann alle Vorteile in sich vereinen. Aufgrund der in der Praxis unterschiedlich auftretenden Störungsmustern A bis F (vgl. Kapitel 2.2.6.3) ist daher meist eine „*Kombination der unterschiedlichen Instandhaltungsstrategien*“ erforderlich. Dieser Strategiemix ergibt sich dabei aus den Unternehmenszielen, der Bedeutung der entsprechenden technischen Einheiten für den Gesamterfolg des Unternehmens und aus dem vorhandenen Instandhaltungsvermögen des jeweiligen Unternehmens.

Große Unternehmen haben bei der Umsetzung eines Strategiemixes meist keine Probleme. Kleinstunternehmen, kleine und mittlere Unternehmen sind hingegen oft nicht in der Lage eine Kombination der unterschiedlichen Instandhaltungsstrategien zielgerichtet umzusetzen, da ihnen dazu häufig das notwendige Instandhaltungsvermögen fehlt.

2.3.1.4 Moderne Instandhaltungskonzepte

Neben den klassischen Instandhaltungsstrategien haben sich **moderne Konzepte** zur Sicherung einer betriebspezifisch erforderlichen Verfügbarkeit und einer zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten etabliert.

Häufig hängt die Funktions- und Leistungsfähigkeit von besonders wichtigen technischen Einheiten davon ab, inwieweit *verdeckte Störungen* erkannt und die notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen eingeleitet werden können. Im Hinblick darauf wurde die *zuverlässigkeitsabhängige Instandhaltung* als formalisiertes Konzept entwickelt, um durch frühzeitiges Handeln unvorhersehbare Störungen oder Ausfälle zu verhindern [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 114-115].

Ein weiteres Konzept stellt die *risikoabhängige Instandhaltung* dar. Hierbei wird die Entscheidung über die Auswahl einer geeigneten Instandhaltungsstrategie anhand des *Betriebsrisikos* getroffen und dann die passenden Instandhaltungsmaßnahmen eingeleitet [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 130].

Die *ganzheitlich integrierte Instandhaltung* hat sich aus dem Produktionskonzept „*Lean Production*“¹³ entwickelt und ist im Gegensatz zu der bisherigen Instandhaltung als Nebengeschäftsprozess mit Servicefunktion zu einem Teil des direkten Geschäftsprozesses geworden. Durch kontinuierliche Verbesserungsprozesse wird die Effektivität von technischen Einheiten maximiert.

- Bei der **zuverlässigkeitsabhängigen Instandhaltung**¹⁴ (engl. Reliability Centered Maintenance – RCM) steht die Gewährleistung einer bedarfsgerechten Zuverlässigkeit der technischen Einheiten im Vordergrund *bevor* es zu Störungen und Ausfällen kommen kann. Hierbei werden mittels systematischem Vorgehen die Funktions- und Leistungsfähigkeit und sich möglicherweise andeutende bzw. bereits eingetretene Störungen und Ausfälle untersucht. Zudem wird ermittelt, welche Folgen diese Störungen und Ausfälle verursachen würden und wie diese Folgen kostengünstig vermieden werden können [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 115]. Dabei wird ebenfalls untersucht, mit welchen Instandhaltungsmaßnahmen, Regularien zur Bedienung, Betriebsbedingungen und konstruktiven Modifikationen das Ziel einer bedarfsgerechten Zuverlässigkeit der technischen Einheiten zu gewährleisten ist [vgl. Moubray, 1995, S. 6-7].

Die Basis der zuverlässigkeitsabhängigen Instandhaltung bildet eine detaillierte Analyse (RCM-Analyse) des Ausfallverhaltens der unterschiedlichen Bauteile und Komponenten einer technischen Einheit. Die kritische Auseinandersetzung mit Störungen oder Ausfällen lässt Rückschlüsse auf etwaige Schwachstellen¹⁵ und deren primäre Ursachen zu. Für die Bewertung der Ursachen und deren möglichen Auswirkungen kommt die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) bzw. eine Fehlzustandsart-, -auswirkungs- und -kritizitätsanalyse (FMECA) mit einer Ausfallbedeutungsanalyse¹⁶ zum Einsatz [vgl. Kuhn u. a., 2006, S. 27].

Auf Basis der Ergebnisse wird dann festgelegt, welche der klassischen Instandhaltungsstrategien für eine technische Einheit einzusetzen ist, um eine bedarfsgerechte Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Können die Ursachen für Störungen und Ausfälle nicht durch entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen beseitigt werden, so erfolgt eine Überprüfung, inwieweit konstruk-

¹³ *Lean Production* – dt. schlanke Produktion – Ein in Japan von *Kiichiro Toyota* (*1894, †1952; japanischer Industrieller und Sohn von Sakichi Toyota, dem Gründer der Toyota Loom Works, der späteren Toyota Motor Company) und *Taiichi Ohno* (*1912, †1990; japanischer Ingenieur und Produktionsleiter im Stammwerk von Toyota) von der Toyota Motor Company entwickeltes Produktionskonzept (Toyota Produktionssystem), welches Unternehmen in die Lage versetzen kann, auch komplexe und variantenreiche Erzeugnisse wirtschaftlich herzustellen, ohne dabei an Wettbewerbsfähigkeit einzubüßen. Dabei entstehen Unternehmenspotenziale durch eine strenge Orientierung an Grundsätzen, Zielen und Maßnahmen sowie durch die Verfolgung von zentralen Leitmotiven „*Vermeidung aller Art von Verschwendung*“ sowie „*Konzentration auf das Kerngeschäft und deren Hauptgeschäftsprozesse (direkte Geschäftsprozesse)*“. Kernkomponenten von Lean Production sind dabei ein möglichst geringer Ressourceneinsatz (Arbeitszeit, Material, Betriebsmittel, Fläche), die Konzentration auf die eigentliche Wertschöpfung, flexible Strukturen in allen Unternehmensbereichen (Reaktion auf Produktänderung, Absatzmenge, Varianten), die Förderung von Qualifikation und Innovation, eine vollständige Fehlervermeidung in allen Prozessen (Null-Fehler-Produktion), der Einsatz von Just-in-time-Konzepten (niedrige Materialbestände, kurze Durchlaufzeiten) sowie eine autonome Automation (automatisierte Systeme mit Fehler- und Qualitätsdiagnosesystemen).

¹⁴ *Zuverlässigkeitsabhängige Instandhaltung* – Die zuverlässigkeitsabhängige Instandhaltung wird auch als *vorausschauende oder zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung* bezeichnet.

¹⁵ *Schwachstelle* – Als Schwachstelle bezeichnet man eine *Betrachtungseinheit*, bei der ein Ausfall häufiger eintritt als es der geforderten Verfügbarkeit entspricht, und bei der eine Verbesserung möglich und wirtschaftlich vertretbar ist ... [nach DIN 31051, 2003, S. 5].

¹⁶ *Ausfallbedeutungsanalyse* – Die Ausfallbedeutungsanalyse ist eine Erweiterung der Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA), um zusätzlich ein messbares Merkmal für das Ausmaß einer Auswirkung (Kritizität) jeder Ausfallart zu erhalten.

tive Modifikationen oder Änderungen der Bedienungsregularien das Auftreten von Störungen und Ausfällen verhindern können.

Bei der zuverlässigkeitsabhängigen Instandhaltung spielen die Kosten eine wichtige Rolle. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Kosten für vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen höher sind als die potenziellen Ausfall- und Ausfallfolgekosten. Zudem dürfen keine Gefahren für Mensch und Umwelt entstehen [vgl. Stender, 1999, S. 43-45].

Eine RCM-Analyse erfolgt anhand von sieben Grundfragen [nach Moubray, 1995, S. 7-8]:

1. **Frage:** Welche Funktionen und damit verbundenen Leistungsnormen gibt es für die betrachtete technische Einheit (Einzelteil, Bauelement, Komponente, Teilsystem, Funktionseinheit) unter Berücksichtigung der aktuellen Betriebsbedingungen?
2. **Frage:** In welcher Art und Weise versagt eine technische Einheit bei der Ausführung der von ihr geforderten Funktion?
3. **Frage:** Welche Ursachen hat die Funktionsstörung?
4. **Frage:** Was geschieht, wenn die technische Einheit versagt?
5. **Frage:** Auf welche Art und Weise stört das Versagen die geforderte Funktion?
6. **Frage:** Was ist zu unternehmen, um der Funktionsstörung vorzubeugen?
7. **Frage:** Was sollte unternommen werden, wenn keine annehmbare und vorbeugende Lösung gefunden werden kann?

Das Ergebnis einer RCM-Analyse ist ein erweitertes Verständnis der Funktionsweise einer technischen Einheit, einschließlich ihrer Ausfall- und Störungsmöglichkeiten sowie deren Ursachen. Weitere Resultate können neben einem Maßnahmenkatalog zur Leistungserhaltung, der auch konstruktive Modifikationen zum Ziel der bedarfsgerechten Zuverlässigkeit einer technischen Einheit beinhalten kann, auch ein geringeres Unfallrisiko und ein verbesserter Unfallschutz sowie eine höhere Produktivität der betrachteten technischen Einheit sein. Daneben verbessert sich im Ergebnis die Effizienz der Instandhaltung, die Mitarbeiterzufriedenheit und zudem entsteht eine umfassende Instandhaltungsdatenbank [vgl. Moubray, 1995, S. 17-20].

Die zuverlässigkeitsabhängige Instandhaltung ist aufgrund der sehr detaillierten RCM-Analyse mit einem sehr aufwändigen Prozess verbunden. Dieser ist nur durch qualifizierte Mitarbeiter mit der spezifischen Kompetenz sowie unter Anwendung von Expertensystemen zur Beurteilung der jeweiligen aktuellen Situation und entsprechender computerunterstützter Sensortechnik durchzuführen. Aus diesem Grund wird das Konzept meist aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nur an sehr kritischen Einheiten eingesetzt, nämlich wenn diese jederzeit zur Verfügung stehen müssen, eine hohe Sicherheit gefordert ist und sich dadurch Schäden für Mensch und Umwelt abwenden lassen [vgl. Kuhn u. a., 2006, S. 27].

Die zuverlässigkeitsabhängige Instandhaltung bietet verschiedene Vor- und Nachteile [vgl. Moubray, 1995, S. 17-20], [vgl. Kuhn u. a., 2006, S. 27]. Für ihre Anwendung sprechen:

- Größere Sicherheit und verbesserter Umweltschutz durch Priorisierung dieser beiden Ziele.
- Verbesserte Betriebsleistung (Produktivität, Produktqualität usw.) durch die Auswahl der effektivsten Instandhaltungsstrategie für die jeweils betrachtete technische Einheit.
- Größere Effektivität der Instandhaltung durch den Einsatz bestmöglich geeigneter, gezielter Instandhaltungsmaßnahmen.
- Umfassende Instandhaltungsdatenbank durch die RCM-Analyse aufgrund der Erfassung des Instandhaltungsbedarfs für die betrachteten technischen Einheiten.

- Längere Nutzungsdauer von komplexen und kapitalintensiven technischen Einheiten durch vermehrte zustandsabhängige Instandhaltungsmaßnahmen.
- Höhere Motivation der am Planungsprozess beteiligten Mitarbeiter.

Gegen die Anwendung der zuverlässigkeitsabhängigen Instandhaltung sprechen:

- Hohe Fachkompetenz (Fachwissen, Erfahrung) sollte zur Durchführung der sehr aufwändigen RCM-Analyse vorhanden sein.
 - Nur an kritischen Einheiten sinnvoll, da mit hohem Aufwand verbunden.
 - Kalkulation der Ausfall- und insbesondere der Ausfallfolgekosten gestaltet sich meist sehr schwierig.
 - Regelmäßige Überprüfungen sind oft sehr mühsam und somit kostenintensiv.
- Die **risikoabhängige Instandhaltung**¹⁷ (engl. Risk Based Maintenance – RBM) stellt eine Vorgehensweise dar, die eine Reduzierung des Instandhaltungsaufwandes unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Sicherheitsniveaus ermöglichen soll. Dabei werden die wirksamsten Instandhaltungsstrategien ermittelt, deren Instandhaltungsmaßnahmen zur Vermeidung von Störungen oder Ausfällen einer technischen Einheit mit unerwünschten Auswirkungen in Form von wirtschaftlichen Schäden und möglichen Gefahren für Mensch und Umwelt am besten geeignet sind. Die Auswahl orientiert sich am *finanziellen Risiko*, welches sich aus dem Schadensausmaß und der Eintrittshäufigkeit ergibt, sofern das finanzielle Risiko ermittelt werden kann [vgl. Kuhn u. a., 2006, S. 27].

Die Grundlage bildet eine detaillierte Analyse (Risikoanalyse) der instand zu haltenden technischen Einheit. Ausgehend von einer funktionalen Beschreibung der einzelnen Bereiche der technischen Einheit (Bauteile, Komponenten, Teilsystem, Funktionseinheit) erfolgt eine Identifikation von möglichen Versagensarten nach festgelegten Kriterien und eine Analyse möglicher Konsequenzen von Störungen und Ausfällen bezogen auf die Kosten sowie auf mögliche Gefahren für Mensch und Umwelt. Daraufhin findet eine Bestimmung der Ausfallhäufigkeit für die einzelnen Bereiche der technischen Einheit und eine Einteilung nach Risikoklassen statt. Dabei werden überwiegend monetäre Maßstäbe berücksichtigt [vgl. Kuhn u. a., 2006, S. 27].

Aus dem Schadensausmaß und der Eintrittshäufigkeit von Störungen und Ausfällen wird die Risikosituation der technischen Einheiten bestimmt und mittels Risikomatrix visualisiert [vgl. Hofmann, 2000, S. 658-661], [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 131-135].

In Abbildung 2.12 ist eine Risikomatrix zur Einschätzung der Situation dargestellt.

Schadens- ausmaß Eintritts- häufigkeit					
	unbedeutend	gering	spürbar	kritisch	katastrophal
häufig	5	6	7	8	9
möglich	4	5	6	7	8
selten	3	4	5	6	7
sehr selten	2	3	4	5	6
unwahrscheinlich	1	2	3	4	5

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Hofmann, 2000, S. 658-661] und [Matyas, 2005, S. 135]

Abbildung 2.12: Risikomatrix

¹⁷ Risikoabhängige Instandhaltung – Die risikoabhängige Instandhaltung wird häufig auch als *risikobasierte Instandhaltung* verstanden.

Im Anschluss an die Risikobestimmung werden die ermittelten Risiken beurteilt und mittels Akzeptanzkriterien auf Annahme bzw. Ablehnung jedes einzelnen Risikos überprüft. Handelt es sich bei einem der betrachteten Risiken um ein kritisches, nicht mehr akzeptables Risiko, so kommt es zur Ablehnung. In diesem Fall werden entsprechende Behandlungsmaßnahmen vorgeschlagen.

Die Behandlungsmaßnahmen lassen sich in die folgenden drei Verfahren unterscheiden [nach Matyas u. Brunner, 2005, S. 133-134]:

Risikoreduktion: Sammeln und Auswerten von Instandhaltungsdaten zur Entwicklung von Verbesserungsmaßnahmen für die risikobehafteten Bereiche einer technischen Einheit.

Risikomäßigung: Neudefinition einer technischen Einheit, sodass mögliche Gefahren gar nicht erst entstehen können und somit entfallen.

Risikoakzeptanz: Entscheidung, das Risiko zu akzeptieren und keinerlei Maßnahmen einzuleiten.

Bei der risikoabhängigen Instandhaltung ist zu berücksichtigen, dass die technischen Einheiten, das vorhandene Wissen und die verfügbaren Informationen einem permanenten Wandel und Veränderungen der Umgebungsbedingungen ausgesetzt sind. Deshalb müssen zur Überwachung und Überprüfung der Risiken die durchgeführten Risikoanalysen während der Lebensdauer einer technischen Einheit immer wieder aktualisiert werden [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 134].

Die risikoabhängige Instandhaltung bietet verschiedene Vor- und Nachteile [nach Hofmann, 2000, S. 657, 661-663]. Für die Anwendung der risikoabhängigen Instandhaltung sprechen:

- Risikoabhängige Entscheidungen werden bezüglich der Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt, wobei das Risiko eine quantitative Grundlage für den Vergleich von technischen Einheiten bildet.
- Kostenorientierte Entscheidungen über Instandhaltungsstrategien und -maßnahmen dienen zur Optimierung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses einer technischen Einheit.
- Gezielte Instandhaltungsmaßnahmen in den besonders kritischen Bereichen einer technischen Einheit führen zur Senkung des Gesamtrisikos für die technische Einheit.
- Alle Instandhaltungsaufwendungen sind nach dem Risiko und mit den entstehenden Kosten auf die einzelnen technischen Einheiten umlegbar.

Gegen die Anwendung der risikoabhängigen Instandhaltung sprechen:

- Hohe Fachkompetenz (Fachwissen, Erfahrung) sollte zur Durchführung der Risikoanalyse und zur Beurteilung der ermittelten Risiken vorhanden sein.
 - Kalkulation der Ausfall- und Ausfallfolgekosten gestaltet sich meistens sehr aufwändig und schwierig.
 - Regelmäßige Überprüfung, ob alle Störungen und ihre Auswirkungen erfasst sind oder ob sich neue ergeben, die weitere Risiken zur Folge haben können, ist sehr aufwändig und somit kostenintensiv.
- Die **ganzheitlich integrierte Instandhaltung**¹⁸ (engl. Total Productive Maintenance – TPM) stammt aus Japan und bezieht sich im Sinne einer produktiven Instandhaltung auf die Integra-

¹⁸ *Ganzheitlich integrierte Instandhaltung* – Die ganzheitlich integrierte Instandhaltung steht unweigerlich stark mit der englischen Bezeichnung „Total Productive Maintenance – TPM“ in Verbindung, die vielfach auch als produktivitätsorientierte oder auch produktiv, autonome Instandhaltung bezeichnet wird.

tion von Instandhaltungsmaßnahmen in den eigentlichen Leistungserstellungsprozess zur Sicherstellung einer betriebsspezifisch erforderlichen Verfügbarkeit und zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit von technischen Einheiten. Dabei wird unter aktiver Teilnahme aller vorhandener Ressourcen die Effizienz der technischen Einheiten kontinuierlich verbessert, um sie auf ein höheres Leistungsniveau zu bringen [vgl. Al-Radhi u. Heuer, 1995, S. 11]. Die Effektivität der technischen Einheiten wird durch technische oder produktionsbedingte Störungen und Ausfälle, verschiedene Leistungsminderungen in Form von reduzierten (Vorschub-, Band-) Geschwindigkeiten und von der erzeugten Qualität des Ausbringungsgutes beeinflusst [vgl. Nakajima, 1995, S. 24-31], [vgl. Hartmann, 2007, S. 29].

Der Begriff „ganzheitlich“ bzw. „total“ verdeutlicht dabei die drei folgenden Anforderungen [vgl. Nakajima, 1995, S. 32], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 190]:

Totale Effektivität: Bezeichnet die vollständige Ausrichtung des Handelns auf Effizienzsteigerung und Qualitätsverbesserung.

Ganzheitlich integrierte Instandhaltung: Bezieht sich auf die Durchführung von vorbeugenden und verbessernden Instandhaltungsmaßnahmen sowie von Instandhaltungsprävention in allen Phasen einer technischen Einheit. Ziel ist es, direkte und indirekte Instandhaltungskosten zu senken.

Vollständiger Einbezug aller Mitarbeiter: Betrifft sämtliche Mitarbeiter, die Einfluss auf einen effektiven Einsatz einer technischen Einheit haben. Hierzu gehören neben den Instandhaltungsmitarbeitern und den Bedienern der technischen Einheiten auch die Mitarbeiter aus den Bereichen Konstruktion, Einkauf, Arbeitsvorbereitung, Qualitätssicherung und dem Management.

Das Vorgehen zur ganzheitlich integrierten Instandhaltung verfolgt die Offenlegung von Effektivitätsverlusten, Vermeidung von Zeit- und Ressourcenverschwendung sowie Motivierung der beteiligten Mitarbeiter. Um das Ziel zu erreichen, muss der Output¹⁹ erhöht und der Input²⁰ gesenkt werden. Dies wird durch die Beseitigung der *Verlustfaktoren* erreicht, welche sich in die drei folgenden Kategorien gliedern [vgl. Nakajima, 1995, S. 35], [vgl. Hartmann, 2007, S. 51-52]:

1. Kategorie: Ausfallzeiten (Verfügbarkeit)

- Produktionsverluste durch Störungen und Ausfälle einer technischen Einheit.
- Produktionsverluste durch Rüsten und Einrichten.

2. Kategorie: Geschwindigkeitsverluste (Leistungsgrad)

- Produktionsleerlauf durch Unterbrechungen (Fehlmeldungen von Sensoren, werkstückbezogene Blockaden von Transportbändern).
- Produktionsausfall durch Reduzierung der Produktionsgeschwindigkeit.

3. Kategorie: Fehler (Qualitätsrate)

- Produktionsausfall aufgrund ineffizient vollzogener Anlaufphasen.
- Produktionsausschuss durch Bearbeitungsfehler.

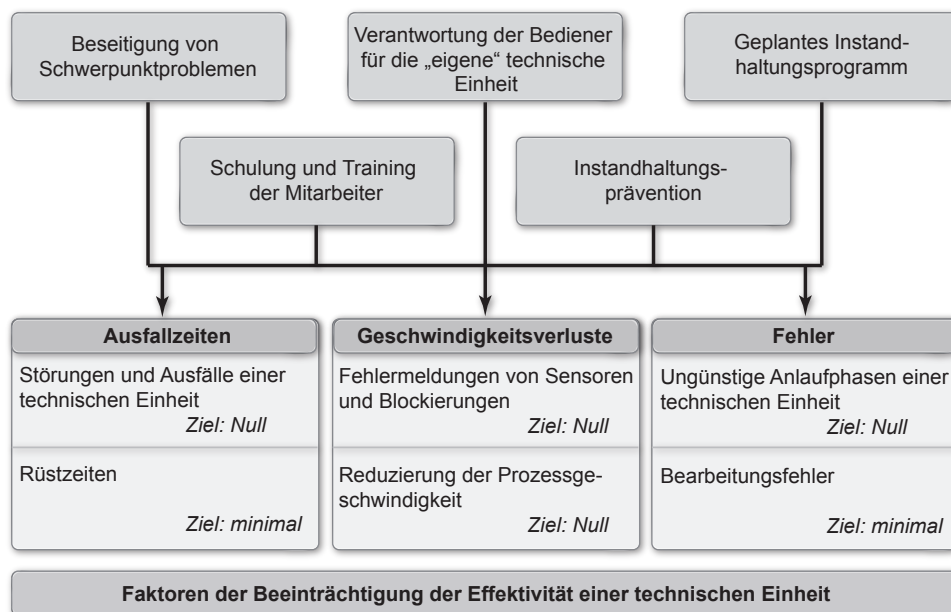
Zur Vermeidung der sechs Verlustfaktoren basiert das Konzept der ganzheitlich integrierten Instandhaltung auf *fünf Kernelementen*, die der Beeinträchtigung der Effektivität einer technischen Einheit entgegenwirken [vgl. Schimmelpfeng u. Steffen, 2000, S. 326-328], [vgl. Nebel u. Prüß, 2006, S. 203]:

¹⁹ *Output* – engl. out – dt. aus, außerhalb; put – dt. setzen, legen, ausgeben; hier: Der Output ist das Ergebnis einer durchgeführten Handlung. Das Ergebnis (Produktion, Qualität, Kosten, Arbeitsmoral, usw.) kann dabei sowohl materieller als auch immaterieller Natur sein oder einen Komplex materieller und immaterieller Elemente umfassen.

²⁰ *Input* – engl. in – dt. in etwas, hinein; put – dt. setzen, legen, eingeben; hier: Die Faktoren Arbeitskraft, Maschinen, Material stellen den Input eines Systems dar, um damit ein Ergebnis in Folge von durchgeführten Handlungen zu erhalten.

1. **Kernelement:** *Beseitigung von Schwerpunktproblemen*, indem Störungen offengelegt und priorisiert, sowie Maßnahmen für ihre Beseitigung festgelegt werden. Dabei werden alle Aktivitäten auf die Maximierung der Verfügbarkeit und der Wirksamkeit der technischen Einheiten ausgerichtet. Als mögliches Hilfsmittel kann die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) angewendet werden.
2. **Kernelement:** *Verantwortung auf das Personal der entsprechenden Leistungseinheit übertragen*, verbunden mit der Übernahme einfacher Wartungsmaßnahmen an der betrachteten technischen Einheit. Damit soll eine Identifikation mit der „eigenen“ technischen Einheit und eine autonome Instandhaltung der technischen Einheiten erreicht werden.
3. **Kernelement:** *Geplante Instandhaltungsmaßnahmen* symbolisieren die Notwendigkeit von Instandhaltungsmaßnahmen, die von der Instandhaltungsabteilung durchgeführt werden, mit dem Ziel, durch rechtzeitiges Erkennen von notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen die Verfügbarkeit einer technischen Einheit zu erhalten bzw. zu erhöhen.
4. **Kernelement:** *Schulungs- und Trainingsmaßnahmen* für die Mitarbeiter verdeutlichen das Konzept der ganzheitlich integrierten Instandhaltung. Dadurch erfolgt die Etablierung von Kenntnissen im alltäglichen Handeln und es entstehen Regeln.
5. **Kernelement:** *Instandhaltungsprävention* stützt das Konzept der ganzheitlich integrierten Instandhaltung. Gemeint sind damit Maßnahmen, die der Vermeidung der eigentlichen Instandhaltung dienen. Diese Maßnahmen erstrecken sich über den gesamten Lebenszyklus einer technischen Einheit, angefangen bei der instandhaltungsgerechten Konstruktion über ständige Verbesserungen während der Nutzungsdauer bis hin zur Auswertung und Übertragung von gewonnenen Erfahrungen auf die nächste Generation einer technischen Einheit.

In Abbildung 2.13 sind die Kernelemente der ganzheitlich integrierten Instandhaltung dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Schimmelpfeng u. Steffen, 2000, S. 327] und [Nebel u. Prüß, 2006, S. 203]

Abbildung 2.13: Kernelemente der ganzheitlich integrierten Instandhaltung

Die **Ziele der ganzheitlich integrierten Instandhaltung** leiten sich aus den bereits erläuterten Kategorien der Verlustfaktoren ab [vgl. Hartmann, 2007, S. 42-43, 52-55]:

- **Vermeidung von Ausfallzeiten, kein nicht geplanter Stillstand einer technischen Einheit**
Ausfallzeiten werden grundsätzlich toleriert, solange sie geplant sind und einen gewissen Umfang nicht überschreiten. Dem Ziel liegt die Annahme zugrunde, dass nicht geplante Stillstände höhere Kosten verursachen als zeit- und leistungsabhängige Instandhaltungsmaßnahmen zu deren Vermeidung.
- **Vermeidung von Leistungsverlusten und damit verbundenen Produktivitätsverlusten**
Abweichung der SOLL-Taktzeit von der IST-Taktzeit und Kurzzeitunterbrechungen, etwa Fehlmeldungen von Sensoren oder das Blockieren von Werkstückträgern, Werkstücken, usw.
- **Vermeidung von Kosten aufgrund von Qualitätsminderung**
Reduzierte Ausbringung einer technischen Einheit durch Qualitätsminderung und Nacharbeit, Ausschuss oder Anlaufverluste.

Zur Operationalisierung dieser Ziele dient als Kennzahl die *Gesamtanlageneffektivität* (engl. *Overall Equipment Effectiveness – OEE*), welche die tatsächliche Auslastung von technischen Einheiten unter Berücksichtigung der Faktoren *Verfügbarkeit V*, *Leistungsgrad L* und *Qualitätsrate Q* beschreibt. Dieser Zusammenhang wird durch Gleichung (2.18) ausgedrückt:

$$OEE = V \cdot L \cdot Q \cdot 100 \% \quad (2.18)$$

Die *Verfügbarkeit V* beruht dabei auf der mittleren Verfügbarkeit und kennzeichnet die Wahrscheinlichkeit, dass eine technische Einheit über eine bestimmte Zeitspanne in einem funktionsfähigen Zustand ist [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 83]. Im Sinne der ganzheitlich integrierten Instandhaltung wird zur Bestimmung der *Gesamtanlageneffektivität* zunächst das Verhältnis zwischen *Anlagenbetriebszeit* und *Ausfallzeit* berechnet, welches durch Gleichung (2.19) und mittels den Gleichungen (2.20) ausgedrückt wird:

$$V = \frac{\text{Anlagenbetriebszeit}}{\text{Anlagenbetriebszeit} + \text{Ausfallzeit}} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} \text{Anlagenbetriebszeit} &= \text{Anlagenhauptzeit} - \text{nicht geplante Stillstandszeit} \\ \text{Anlagenhauptzeit} &= \text{verfügbare Einsatzzeit} - \text{geplante Stillstandszeit} \\ \text{Ausfallzeit} &= \text{nicht geplante Stillstandszeit} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Die *geplante Stillstandszeit* stellt den nicht wertschöpfenden Zeitanteil der verfügbaren Einsatzzeit dar und kann sich aus *Rüstzeiten*, *Wartezeiten auf Material*, *organisatorische Pausen*, usw. zusammensetzen.

Der *Leistungsgrad L* einer technischen Einheit definiert die *Güte der Anlagennutzung* und wird anhand des *Anlagen-Geschwindigkeitsverhältnisses* und der *Anlagenbetriebsrate* ermittelt [vgl. Nakajima, 1995, S. 44-45]. Das *Anlagen-Geschwindigkeitsverhältnis* bezieht sich dabei auf die Diskrepanz zwischen der *idealen Anlagen-Geschwindigkeit* laut konstruktiver Auslegung des Herstellers und der *tatsächlichen Anlagen-Geschwindigkeit* beim Betrieb der technischen Einheit durch den Betreiber [nach Nakajima, 1995, S. 44-45].

Die *Anlagenbetriebsrate* drückt die *Aufrechterhaltung einer bestimmten Geschwindigkeit über eine bestimmte Zeitspanne* für alle bearbeiteten Aufträge (A_{alle}) aus. Sie verdeutlicht, ob der Betrieb stabil bleibt, auch wenn die betrachtete technische Einheit mit geringerer Geschwindigkeit betrieben wird, beispielsweise aufgrund von Einstellproblemen oder durch reduzierte (Vorschub-, Band-) Geschwindigkeiten [nach Nakajima, 1995, S. 44-45].

Dieser Zusammenhang wird durch Gleichung (2.21) und mittels den Gleichungen (2.22) ausgedrückt:

$$L = \text{Anlagen-Geschwindigkeitsverhältnis} \cdot \text{Anlagenbetriebsrate} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} \text{Anlagen-Geschwindigkeitsverhältnis} &= \frac{\text{SOLL-Taktzeit}}{\text{IST-Taktzeit}} \\ \text{Anlagenbetriebsrate} &= \frac{\text{Anlagenbetriebszeit}}{A_{\text{alle}} \cdot \text{IST-Taktzeit}} \end{aligned} \quad (2.22)$$

Die *Qualitätsrate* Q beschreibt das Verhältnis zwischen der Gesamtheit *aller bearbeiteten Aufträge* (A_{alle}) zu den *Aufträgen mit positivem Ergebnis* (A_{positiv}). Die Gesamtheit der Aufträge mit qualitativ guten Produkten ergibt sich aus der Gesamtheit *aller bearbeiteten Aufträge* (A_{alle}) abzüglich der *Aufträge mit negativem Ergebnis* (A_{negativ}) aufgrund von *Ausschuss* oder *Nacharbeit* [nach Al-Radhi u. Heuer, 1995, S. 32], [vgl. Ryll u. Freund, 2010, S. 84]. Dieser Zusammenhang wird durch Gleichung (2.23) und mittels Gleichung (2.24) ausgedrückt:

$$Q = \frac{A_{\text{positiv}}}{A_{\text{alle}}} \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned} A_{\text{positiv}} &= A_{\text{alle}} - A_{\text{negativ}} \\ A_{\text{negativ}} &= \text{Ausschuss} + \text{Nacharbeit} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Der Zusammenhang zwischen den *Verlustfaktoren* und den *Zielen* der ganzheitlich integrierten Instandhaltung lässt sich so mit der **Gesamtanlageneffektivität – OEE** als Kennzahl darstellen und hinsichtlich der Funktions- und Leistungsfähigkeit sowie der Zuverlässigkeit einer technischen Einheit bezogen auf den eigentlichen Leistungserstellungsprozess bewerten. Zudem ermöglicht die Gesamtanlageneffektivität eine Bewertung der betreffenden Nebenprozesse, beispielsweise eines Werkzeug- oder Werkstückwechsels, und lässt einen Schluss hinsichtlich der Gesamtsituation einer technischen Einheit zu.

In Kapitel A.2.3 im Anhang ist an einem **Beispiel** erläutert, welchen Einfluss die Verlustfaktoren auf die einzelnen Bestandteile der **Gesamtanlageneffektivität** haben können.

Ein erfolgreicher Einsatz der ganzheitlich integrierten Instandhaltung kann zu einer Gesamtanlageneffektivität von über 85 % führen [nach Nakajima, 1995, S. 48]. Hierzu müssen allerdings sämtliche Kernelemente umgesetzt und etabliert sein sowie die folgenden Bedingungen der Gesamtsituation erreicht werden [vgl. Hartmann, 2007, S. 73-75], [nach Vorne Industries, 2011]:

1. Verfügbarkeit von mehr als 90 %
2. Leistungsgrad von mehr als 95 %
3. Qualitätsrate von mehr als 99 %

Bei einer erfolgreichen Anwendung der ganzheitlich integrierten Instandhaltung sind die Maximierung der Verfügbarkeit und insbesondere der Wirksamkeit der technischen Einheiten durch Funktions- und Leistungsverbesserungen sowie eine Qualitätsverbesserung des Ausbringungsgutes möglich [vgl. Hartmann, 2007, S. 73-75].

Neben einer optimierten Gesamtsituation fördert die ganzheitlich integrierte Instandhaltung vor allem eine bessere Wahrnehmung von möglichen Verlustquellen und setzt permanente Verbesserungen in Gang. Häufig fungieren die Instandhaltungsmitarbeiter als eine Art Trainer für die Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten oder sie werden in Abhängigkeit ihrer Fachkompetenz für andere Aufgaben im Unternehmen eingesetzt [vgl. Al-Radhi u. Heuer, 1995, S. 34], [vgl. Hartmann, 2007, S. 73-75].

Die ganzheitlich integrierte Instandhaltung bietet verschiedene Vor- und Nachteile [vgl. Nakajima, 1995, S. 24], [vgl. Kuhn u. a., 2006, S. 28]. Für die Anwendung der ganzheitlich integrierten Instandhaltung sprechen:

- Produktivitätserhöhung durch höhere Wertschöpfung pro technische Einheit bei gleichzeitiger Reduzierung von Störungen und Ausfällen.
- Verbesserung der Qualität durch Reduzierung von Prozessfehlern, Mängeln sowie Verminderung von Reklamationen.
- Verbesserung des Umweltschutzes durch mehr Ordnung und Sauberkeit.
- Verbesserungen aufgrund von reduzierten Materialbeständen und der Erhöhung des Lagerumschlages.
- Senkung der Kosten für die Instandhaltung sowie der Lebenszykluskosten der technischen Einheiten.
- Steigerung der Arbeitsmoral durch Einführung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP).

Gegen die Anwendung der ganzheitlich integrierten Instandhaltung sprechen:

- Die Vorteile der ganzheitlich integrierten Instandhaltung werden nicht immer erkannt, da bei der Integration der Instandhaltungstätigkeiten häufig eine zu starke Fokussierung auf die Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten erfolgt.
- Aufbau der Fachkompetenz für Instandhaltungstätigkeiten und Übertragung der Verantwortung auf die Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten kann je nach Umfang einen längeren Zeitraum in Anspruch nehmen.

2.3.2 Operatives Instandhaltungsmanagement

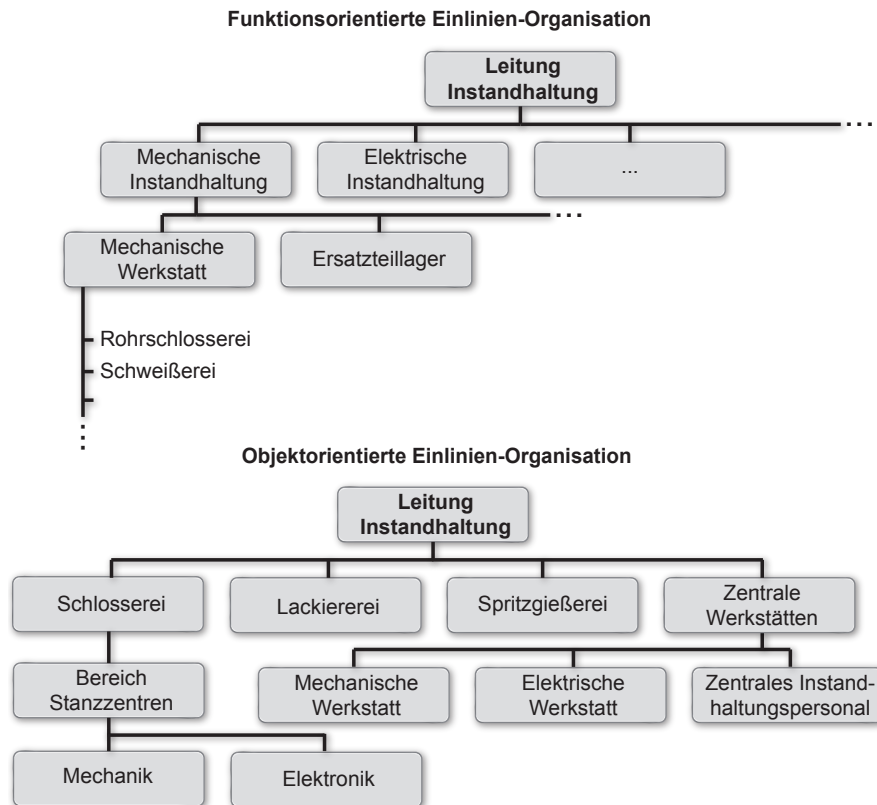
Das **operative Instandhaltungsmanagement** befasst sich mit der *Umsetzung* der gewählten Instandhaltungsstrategien und -konzepte innerhalb des vorgegebenen Rahmens des strategischen Instandhaltungsmanagements. Die konkrete Ausgestaltung der notwendigen Instandhaltungsorganisation erfolgt dabei unter Berücksichtigung der von den Unternehmenszielen abgeleiteten Zielsetzungen der Instandhaltung.

Die Instandhaltungsorganisation sollte dabei die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Aufbau einer anforderungsgerechten Instandhaltungsorganisation mit ausreichenden personellen und technischen Instandhaltungsressourcen.
- Rechtzeitige Bereitstellung von notwendigen Instandhaltungsinformationen und -daten sowie von erforderlichen Ersatzteilen und Hilfsstoffen.
- Organisation und Durchführung von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen und Vorbereitung von Inbetriebnahmen neuer technischer Einheiten.
- Schnelle Reaktion auf nicht geplante Störungen und Ausfälle sowie Entscheidung für Eigeninstandhaltung oder Fremdinstandhaltung.
- Einschätzung von möglichen Risiken auf Basis der ermittelten Instandhaltungsinformationen und -daten sowie Entwicklung von Verbesserungsmaßnahmen.
- Festlegung von Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen des Instandhaltungspersonals in Bezug auf die notwendigen Fachkompetenzen und Qualifikationen.
- Gewährleistung von Bereitschaftsdiensten außerhalb der normalen Betriebszeit und Entwicklung von kurzfristigen (Notfall-) Lösungen.
- Ermittlung der entstehenden Instandhaltungskosten und Festlegung von erforderlichen Instandhaltungsbudgets.

- Die **Einlinien-Organisation** ist durch eine einheitliche vertikale Befehlslinie charakterisiert, die von der obersten bis zur untersten Instanz reicht. Jede Ebene erhält die Anweisungen und Vorgaben ausschließlich und unmittelbar von der übergeordneten Instanz. Die Rückmeldungen und eventuelle Vorschläge erfolgen auf dem entgegengesetzten Instanzweg an die übergeordnete Ebene bzw. an den direkten Vorgesetzten [vgl. VDI 2895, 1996, S. 12], [vgl. Binner, 2005, S. 168].

In Abbildung 2.15 sind funktions- und objektorientierte Einlinien-Organisationen dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Wicheringer, 1992, S. 305-306] und [VDI 2895, 1996, S. 12-15]

Abbildung 2.15: Einlinien-Organisation

Vorteile: Straffer Aufbau und klare Regelung von Anordnungsrecht und Verantwortung. Die klaren Weisungsverhältnisse dienen der Einheitlichkeit des Auftragsempfangs, was die Vermeidung von Fehlern bedingt [vgl. Wicheringer, 1992, S. 305-306], [vgl. VDI 2895, 1996, S. 12].

Nachteile: Ausgeprägte hierarchische Strukturen mit vielen Ebenen begünstigen langwierige und umständliche Befehlswege. Die starke Fokussierung auf die oberen Instanzen führt zu starken Belastungen, sodass die oberste Ebene oft schwerfällig reagiert oder auch handlungsunfähig ist [vgl. Wicheringer, 1992, S. 305-306], [vgl. VDI 2895, 1996, S. 12].

- Die **Stablinien-Organisation** ist eine Variante der Einlinien-Organisation. Zusätzlich zu den existierenden Instanzen der Einlinien-Organisation werden beratende Stabsstellen mit Spezialisten eingerichtet. Die Hauptaufgabe der Stabsstellen liegt in der Erarbeitung von Lösungsvorschlägen zur Entscheidungsvorbereitung und Kontrolle der entsprechenden Führungsmitarbeiter [vgl. VDI 2895, 1996, S. 12-13], [vgl. Binner, 2005, S. 168].

In Abbildung 2.16 sind funktions- und objektorientierte Stablinien-Organisationen dargestellt.

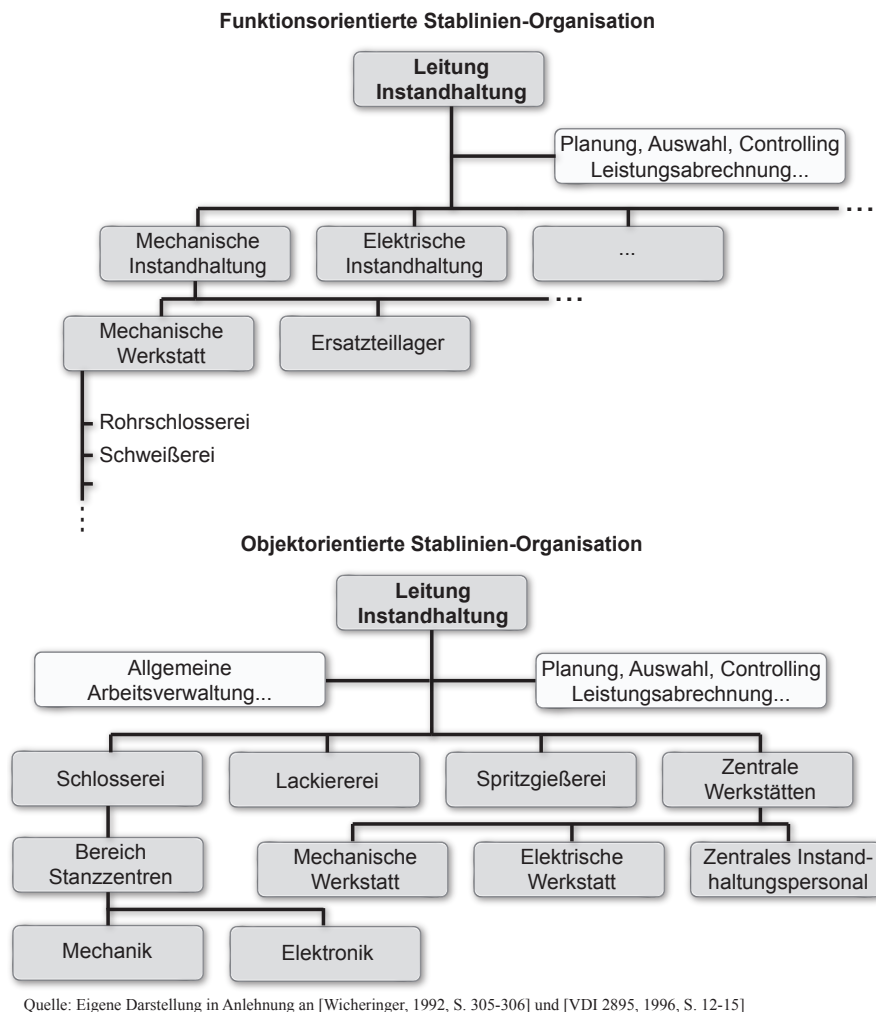


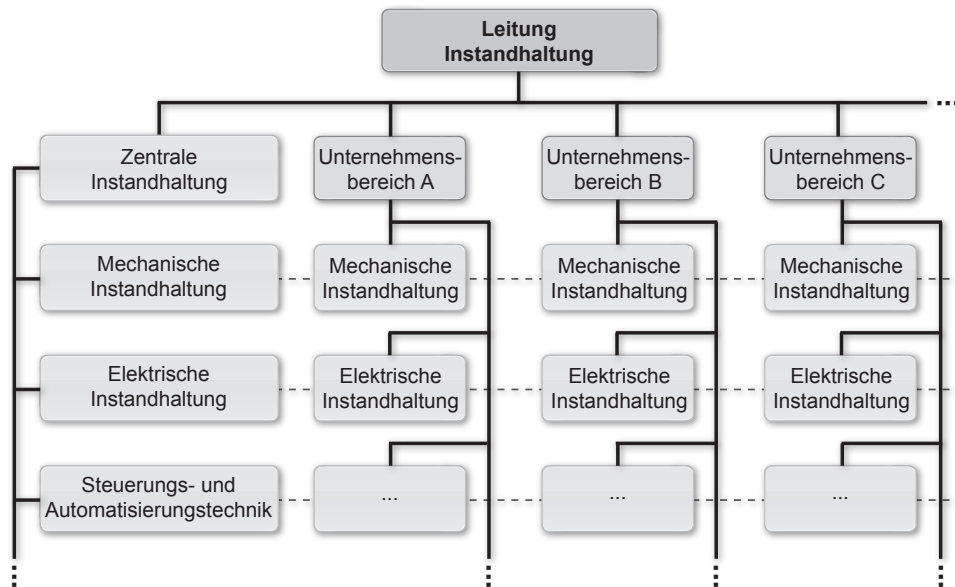
Abbildung 2.16: Stablinien-Organisation

Vorteile: Möglichkeit zur Spezialisierung der Stabsstellen sowie Entlastung der oberen Instanzen durch die Stabsstellen [vgl. VDI 2895, 1996, S. 12-13], [vgl. Wicheringer, 1992, S. 306-308].

Nachteile: Abgrenzung von Aufgaben- und Verantwortungsbereichen, was zu zeitlichen und sachlichen Koordinationsproblemen zwischen Stab und Linie führen kann [vgl. VDI 2895, 1996, S. 12-13], [vgl. Wicheringer, 1992, S. 306-308].

- Bei der **Matrix-Organisation** wird eine funktionsorientierte, vertikal gegliederte Organisation von einer horizontal gegliederten, objektorientierten Organisation überlagert. Damit erfolgt eine verbindliche Zuordnung von Entscheidungs- und Weisungsbefugnissen sowie von Spezialisten. Neben schnellen Entscheidungen lassen sich mehr Flexibilität und Effizienz erreichen. Hierarchisch bedingte Umwege werden vermieden. Allerdings kann es zu Kompetenzüberschneidungen und Konflikten kommen. Eine hohe Verständigungsbereitschaft der Beteiligten ist in einer Matrix-Organisation notwendig. Die Matrix-Organisation eignet sich in großen Unternehmen, um komplexe Organisationen in überschaubare Einheiten aufzuteilen [vgl. VDI 2895, 1996, S. 13-15], [vgl. Binner, 2005, S. 169-170].

In Abbildung 2.17 ist eine einfache Matrix-Organisation dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Wicheringer, 1992, S. 308-309] und [Alcalde Rasch, 2000, S. 106]

Abbildung 2.17: Einfache Matrix-Organisation

Vorteile: Hohe Transparenz und Unausweichlichkeit von interessenausgleichenden, sachgerechten Teamentscheidungen. Die übersichtliche, klare und formale Koordination ermöglicht es, Konflikte durch die Organisationsform zu institutionalisieren und mittels Konsensfindung zu lösen, was zur Entlastung der Instanzen aller Ebenen führt. Durch Übereinstimmung von Fachkompetenz, Entscheidungsfähigkeit sowie Spezialisierung ist eine direkte Ausführung der Tätigkeiten möglich [vgl. Wicheringer, 1992, S. 309-311], [vgl. VDI 2895, 1996, S. 13].

Nachteile: Aufwändige Kompetenzabgrenzung und Notwendigkeit intensiver Kommunikation zur Vermeidung innerbetrieblicher Konflikte. Aufgrund der starken Verknüpfung von einzelnen Stellen kommt es zu mehrfacher Zurechenbarkeit und somit zu Doppelunterstellungen, was zu einer Überlastung der betroffenen Stellen führen und bei Meinungsverschiedenheiten oft zur Einwilligung in Kompromisslösungen münden kann [vgl. Wicheringer, 1992, S. 309-311], [vgl. VDI 2895, 1996, S. 13].

2.3.2.2 Ablauforganisation der Instandhaltung

Die **Ablauforganisation der Instandhaltung** umfasst die räumliche und zeitliche Ordnung der Aufgabenerledigung zur Durchführung aller Instandhaltungsaktivitäten sowie die Koordination der beteiligten organisatorischen Einheiten, Instanzen und Stellen, sodass ein rationelles, einheitliches und zielorientiertes Vorgehen bei der Instandhaltung von technischen Einheiten möglich ist [vgl. Binner, 2005, S. 591]. Durch Instandhaltungsstrategien und -konzepte unterstützt die Ablauforganisation im Hinblick auf die technischen Einheiten die spezifischen Ziele (Produktivität, Auslastung, Verfahren, Kosten), um dadurch die unternehmensspezifischen Ziele zu erfüllen. Die Ablauforganisation steht für die Festlegung und Koordination der Instandhaltungstätigkeiten und damit für wechselseitige Beziehungen zur Aufbauorganisation [vgl. Wicheringer, 1992, S. 309-311], [vgl. VDI 2895, 1996, S. 11-12].

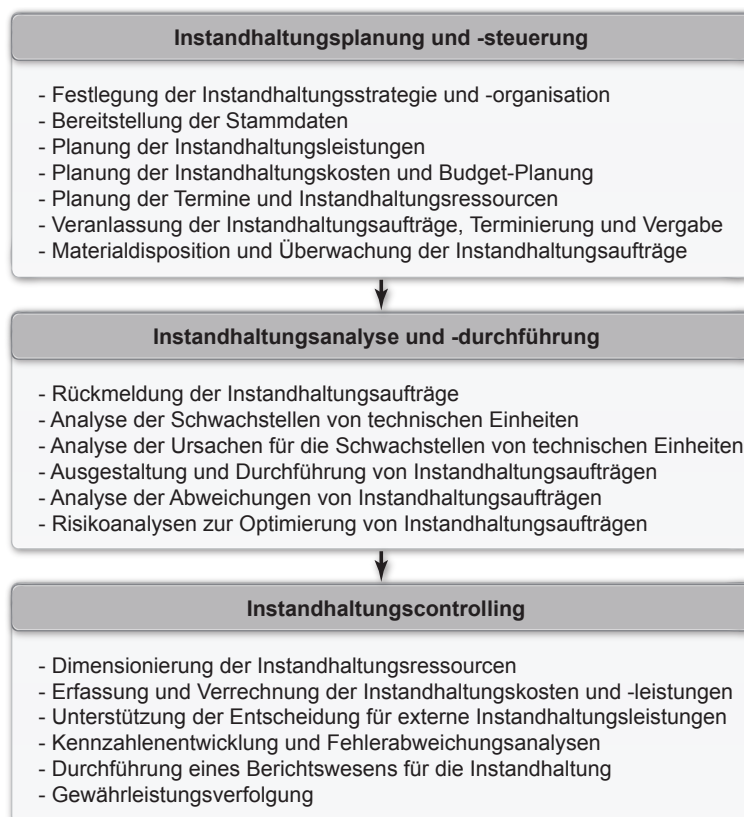
Zur Ausführung aller Aufgaben innerhalb der Ablauforganisation gibt die *Unternehmensleitung* unter Berücksichtigung von Markt- und Umwelteinflüssen die unternehmensbezogenen Ziele und somit die Instandhaltungsziele vor. Die *Instandhaltungsleitung* hat dabei die Aufgabe, die Instandhaltungsziele durch Strategie- und Budgetprogramme zu realisieren und damit einen Handlungs- und Vorge-

gen auf das Instandhaltungsvermögen im Rahmen der Instandhaltungsplanung, bestimmt [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 131-141]. Steht das notwendige Instandhaltungsvermögen in Form von eigenen Instandhaltungsmitarbeitern mit entsprechender Fachkompetenz zur Verfügung, sind deren terminliche Einplanung zur Instandhaltungsdurchführung ebenso zu leisten wie gegebenenfalls die Entscheidung zur Nutzung von Drittunternehmen für die Instandhaltung bei entsprechender Verfügbarkeit und Kosten des unternehmensfremden Instandhaltungspersonals. Weiterhin sind die Disposition von Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. und Ersatzteilen sowie die Planung der Instandhaltungskosten und die Festlegung des Instandhaltungsbudgets durchzuführen [vgl. VDI 2895, 1996, S. 4-5], [vgl. Rötzel, 2005, S. 27-30].

- Die **Instandhaltungssteuerung** befasst sich mit der *Umsetzung sämtlicher Vorgaben der Instandhaltungsplanung*. Dabei wird das Zusammenwirken aller unmittelbar beteiligten Stellen präzisiert und koordiniert [vgl. Bloß, 1995, S. 20-21]. Entsprechend des Instandhaltungsbedarfs erfolgt eine Grobterminierung und mittelfristige Planung; später eine Feinterminierung zur exakten Terminfestlegung sowie eine Mitarbeiterzuordnung [vgl. VDI 2895, 1996, S. 4-5]. Die notwendigen Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. und Ersatzteile werden je nach Bedarf nach Art, Menge und Termin ermittelt und disponiert. Infolge der Auftragsfreigabe und Auftragsveranlassung wird der Instandhaltungsauftrag erstellt und den entsprechenden Instandhaltungsmitarbeitern zugewiesen [vgl. Rötzel, 2005, S. 27-30]. Durch Überwachung des Arbeitsfortschrittes erfolgt bei etwaigen Abweichungen von Termin und Kosten eine frühzeitige Einleitung von erneuten Planungs- und Steuerungsmaßnahmen. Gleichzeitig wird die Auslastung der Instandhaltungsmitarbeiter kontrolliert und gegebenenfalls werden kurzfristige Änderungen in der Auftragssteuerung vorgenommen [vgl. Bünning, 2002, S. 22]. Zur Rückmeldung aktueller Daten werden der Material- und Zeitverbrauch erfasst und wichtige Details für die Instandhaltungsanalyse dokumentiert [vgl. VDI 2895, 1996, S. 4-5], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 141-145].
- Die **Instandhaltungsanalyse** beschäftigt sich mit dem *SOLL-IST-Vergleich während der Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen*. Die dabei gewonnenen Daten und Informationen dienen wiederum der Instandhaltungsplanung und zur Bildung von Kennzahlen und Kennzahlensystemen hinsichtlich der instand zu haltenden technischen Einheiten [vgl. VDI 2895, 1996, S. 7-8]. Diese bilden die Basis für eine Abweichungsanalyse zur Ermittlung der Differenzen zwischen den SOLL- und IST-Werten. Bei etwaigen Abweichungen können deren Ursachen bestimmt und Rückschlüsse auf mögliche Planungsdefizite gezogen werden, sodass eine Optimierung der Instandhaltungsplanung und -steuerung erfolgen kann [vgl. Hackstein u. Sent, 1992, S. 402]. Mit Hilfe von (Schwachstellen-) Analysen wird festgestellt, inwieweit an einer technischen Einheit „... ein Ausfall häufiger als es der geforderten Verfügbarkeit entspricht, eintritt ...“ und ob „... eine Verbesserung möglich und wirtschaftlich vertretbar ist“ [DIN 31051, 2003, S. 5]. Dadurch werden die Ausfallhäufigkeit bzw. das Schadensausmaß verringert und eine gezielte Schadensursachensuche möglich [vgl. VDI 2895, 1996, S. 4-5].
- Im Rahmen der **Instandhaltungsdurchführung** erfolgen die zuvor festgelegten Instandhaltungsmaßnahmen entweder durch *unternehmenseigenes Instandhaltungspersonal, Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten* und/oder durch *Instandhaltungsmitarbeiter von Drittunternehmen* [vgl. Kaluza u. a., 1994, S. 3]. Dabei müssen die ausführenden Mitarbeiter zur fachlich korrekten Durchführung der Instandhaltungstätigkeiten eine ausreichende Fachkompetenz besitzen [vgl. Bloß, 1995, S. 27]. Die tatsächliche Ausgestaltung der Instandhaltungsdurchführung ist entsprechend der Systematisierung der Instandhaltung davon abhängig, ob es sich um *geplante* oder *nicht geplante Instandhaltungsmaßnahmen* handelt und davon, welcher Art die Instandhaltungsmaßnahmen sind. Die Instandhaltungsdurchführung wird zudem davon beeinflusst, welchen Leistungsumfang die Instandhaltungstätigkeiten beinhalten und in welchem zeitlichen Rahmen die Tätigkeiten durchzuführen sind. Die Ausgestaltung der Instandhaltungsdurchführung steht auch in Verbindung mit der technologischen Beschaffenheit der instand zu haltenden technischen Einheit und wird davon bestimmt, unter welchen Umgebungseinflüssen die Instandhaltungstätigkeiten durchgeführt werden müssen [vgl. Bloß, 1995, S. 23-26].

- Das **Instandhaltungscontrolling** gehört zu den wesentlichen *Managementinstrumenten der Instandhaltung* und ist ein Führungssystem, das zur Instandhaltungsplanung und -steuerung, Instandhaltungsanalyse und -durchführung sowie bei der Entwicklung von Verbesserungsmaßnahmen aller Instandhaltungsaktivitäten dient [vgl. Kalaitzis, 1999, S. 16]. Dabei basieren die Controllingverfahren und -methoden auf einer Daten- und Informationssammlung über die instand zu haltenden technischen Einheiten, auf gegebenenfalls vorhandenen Instandhaltungsressourcen und nicht zuletzt auf einem umfassenden Informationsmanagement im Unternehmen unter Zuhilfenahme von Kennzahlen und Kennzahlensystemen [vgl. Kalaitzis, 1999, S. 17-19]. Die wichtigsten *Ziele des Instandhaltungscontrollings* stellen die Dimensionierung der Instandhaltungsressourcen, Planung und Festlegung von Instandhaltungsbudgets, Bestimmung von Budgetverantwortlichen, Messung des Zielerreichungsgrades sowie die Feststellung von Abweichungen für einen SOLL-IST-Kostenvergleich dar, um gegebenenfalls notwendige Maßnahmen einleiten zu können [vgl. Kalaitzis, 2004, S. 59-65]. Ebenso fallen eine benutzeradäquate Auftragsgestaltung, differenzierte Erfassung der Instandhaltungskosten nach entsprechenden Instandhaltungsobjekten und Instandhaltungsmaßnahmen, Vor- und Nachkalkulation zur Wirtschaftlichkeitsermittlung wie auch die Abrechnung von Instandhaltungsleistungen und -kosten in den Tätigkeitsbereich des Instandhaltungscontrollings. Darüber hinaus unterstützt das Instandhaltungscontrolling die Entscheidung über die Einbeziehung von Drittunternehmen und führt dazu eine leistungsbezogene sowie volumenabhängige Ausweisung der Instandhaltungskosten durch [vgl. Biedermann, 1992, S. 771-774], [vgl. Becker u. Bloß, 1996, S. 360-362].

In Abbildung 2.19 sind die Aufgaben des operativen Instandhaltungsmanagements dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Hackstein u. Sent, 1992, S. 396-405] und [VDI 2895, 1996, S. 4-11]

Abbildung 2.19: Aufgaben des operativen Instandhaltungsmanagements

2.3.2.3 Örtliche Verteilung der Instandhaltung

Die **örtliche (räumliche) Verteilung** der Instandhaltungstätigkeiten bestimmt, wo innerhalb eines Unternehmens die Instandhaltungsmaßnahmen ausgeführt werden. Entscheidend sind dabei die voneinander unabhängigen Kriterien *Spezialisierungsgrad* und *Zentralisierungsgrad* [vgl. VDI 2895, 1996, S. 10].

Der **Spezialisierungsgrad** ermöglicht eine Verteilung der Instandhaltungsaufgaben auf spezialisierte Instandhaltungsbereiche innerhalb eines Unternehmens (Matrix-Organisation) [vgl. VDI 2895, 1996, S. 11], sofern es beispielsweise mechanische Instandhaltungswerkstätten oder Elektrowerkstätten gibt und ausreichend Instandhaltungspersonal vorhanden ist.

Für eine Verteilung der Instandhaltung anhand des Spezialisierungsgrades sprechen [vgl. VDI 2895, 1996, S. 11]:

- Eine größere Anzahl gleichartiger technischer Einheiten ermöglicht die Anwendung moderner und arbeitszeitsparender Instandhaltungstechnologien und bewirkt neben der Verkürzung von Vorbereitungszeiten eine Senkung der Instandhaltungskosten pro technischer Einheit.
- Durch die Spezialisierung ist der Einsatz von Drittunternehmen für bestimmte Instandhaltungsleistungen eindeutiger abgrenzbar und es wird eine bessere Auslastung der unternehmenseigenen Instandhaltungsmitarbeiter möglich.
- Mit der Begrenzung auf Spezialgebiete ist eine schnellere und konzentriertere Anwendung von Forschungsergebnissen und neuen Technologien in der Instandhaltung besser gewährleistet.

Der **Zentralisierungsgrad** beschreibt, inwieweit eine Verteilung der Instandhaltungstätigkeiten durch Bildung von organisatorischen Einheiten (Mitarbeitergruppen, Abteilungen, Unternehmensbereiche) nach den Grundformen der Aufbauorganisation erfolgt. Dabei wird anhand der *örtlichen (räumlichen) Verteilung* der Instandhaltungseinheiten zwischen *zentraler* und *dezentraler Instandhaltung* unterschieden [vgl. VDI 2895, 1996, S. 10].

- Bei der **zentralen Instandhaltung** werden alle Instandhaltungsaufgaben von einer zentralen Instandhaltungseinheit im Unternehmen geplant, geleitet und durchgeführt.

Vorteile: Nur einmal vorhandene Instandhaltungseinheiten erleichtern die Planung und Steuerung, was zur besseren Auslastung der Instandhaltungsmitarbeiter sowie der Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. führt. Auch die Kosten für Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen sowie für Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. sind geringer. Zudem wird die zentrale Beschaffung und Lagerhaltung von Ersatzteilen erleichtert und eine bessere Datenerfassung und Auswertung von Schwachstellen im Rahmen der Instandhaltungsanalyse (Informationsbündelung) möglich. Neben einem Wissenstransfer findet auch eine verrichtungsbezogene Spezialisierung der Instandhaltungsmitarbeiter statt [vgl. VDI 2895, 1996, S. 10].

Nachteile: Bei größeren Unternehmen können sich längere Wegzeiten der Instandhaltungsmitarbeiter auf die Ausfallzeiten und somit auf die Verfügbarkeit der technischen Einheiten auswirken. Durch viele technische Einheiten in mehreren Unternehmensbereichen wird eine Zuordnung von Störungen oder Ausfällen sowie eine Koordination und Abstimmung der Instandhaltungsmitarbeiter erschwert. Geringeres anlagenspezifisches Wissen und fehlende Identifikation der Instandhaltungsmitarbeiter mit den technischen Einheiten ermöglichen weniger Innovationen und Verbesserungen der technischen Einheiten [vgl. VDI 2895, 1996, S. 10].

- Bei der **dezentralen Instandhaltung** werden mehrere Instandhaltungseinheiten für unterschiedliche Unternehmensbereiche gebildet. Deren Zuordnung erfolgt in der Regel nach geografischen oder produktionstechnischen Gesichtspunkten [vgl. VDI 2895, 1996, S. 10].

Vorteile: Kürzere Wegzeiten ergeben kürzere Reaktionszeiten²¹ der Instandhaltungsmitarbeiter, die sich in kürzeren Ausfallzeiten wie auch in höheren Verfügbarkeiten der technischen Einheiten ausdrücken. Ein engerer Kontakt zu den Bedienern der technischen Einheiten begünstigt den Aufbau von anlagenspezifischem Wissen und Erfahrungen bei wiederkehrenden Störungen. Außerdem sinken der Planungs- und Steuerungsaufwand und durch gezielte Lagerhaltung von Ersatzteilen im Arbeitsbereich die entsprechenden Zugriffszeiten [vgl. VDI 2895, 1996, S. 10].

Nachteile: Notwendige und oft teure Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. sind nicht in allen dezentralen Instandhaltungseinheiten vorhanden, so müssen längere Ausfallzeiten der technischen Einheiten und höhere Ausfall- und Ausfallfolgekosten in Kauf genommen werden. Überdies erfolgt in den dezentralen Instandhaltungseinheiten nicht immer eine fachlich qualifizierte Führung, ein reger Wissenstransfer sowie regelmäßige Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen der Instandhaltungsmitarbeiter [vgl. VDI 2895, 1996, S. 10].

Die **Kombination** von *zentraler* und *dezentraler Instandhaltung* ist ebenfalls möglich, wodurch sich ein größerer Nutzen für die Unternehmen einstellen kann. Häufig findet dabei eine Kompensation der wesentlichen Nachteile statt, zugleich verstärken sich die jeweiligen Vorteile [vgl. VDI 2895, 1996, S. 10]. Beispielsweise bietet eine dezentrale Verteilung des Instandhaltungspersonals oft kürzere Reaktionszeiten, wohingegen eine zentrale Lagerhaltung von teuren Reserveteilen – die mehreren technischen Einheiten zugeordnet sind – meist kostengünstiger ist.

2.3.2.4 Personelle Verteilung der Instandhaltung

In **personeller Hinsicht** wird folgendermaßen unterschieden: Bei der *Eigeninstandhaltung* übernehmen *unternehmenseigene Mitarbeiter* die Instandhaltungstätigkeiten, bei der *Fremdinstandhaltung* sind es hingegen *unternehmensfremde Instandhaltungsmitarbeiter von Drittunternehmen für Instandhaltungsleistungen*. Eine **Kombination** aus *Eigen- und Fremdinstandhaltung* ist ebenfalls möglich [vgl. VDI 2895, 1996, S. 9] und übliche Praxis.

- Als **Eigeninstandhaltung** wird die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen bezeichnet, solange die Tätigkeiten zur Instandhaltung durch *unternehmenseigene Mitarbeiter* des Betreiberunternehmens von technischen Einheiten erfolgen. Dabei kann es sich um *Produktionsmitarbeiter* und *Bediener der Instand zu haltenden technischen Einheiten* wie auch um die *Mitarbeiter der unternehmenseigenen Instandhaltung* handeln – vorausgesetzt, es gibt eine unternehmenseigene Instandhaltung. Das Leistungsspektrum und die Kernkompetenz der unternehmenseigenen Instandhaltung liegen dabei im Bereich der Instandhaltungsplanung und -steuerung, Instandhaltungsanalyse und -durchführung sowie dem Instandhaltungscontrolling.

Die Eigeninstandhaltung hat verschiedene Vor- und Nachteile [vgl. VDI 2895, 1996, S. 9], [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 142]. Für die Eigeninstandhaltung durch unternehmenseigene Mitarbeiter sprechen:

- Kurze Reaktionszeiten, da die unternehmenseigenen Mitarbeiter meist kurzfristig vor Ort sind. Dadurch schnellere Störungsbeseitigung mit geringeren Ausfallzeiten der technischen Einheiten.
- Schnelle Fehlerdiagnose und Rückführung der technischen Einheiten in einen funktions- und leistungsfähigen Zustand, durch betriebs- und verfahrensspezifische Prozesskenntnisse bezüglich der technischen Einheiten.

²¹ *Reaktionszeit* – Als Reaktionszeit im Sinne der Instandhaltung wird diejenige Zeitspanne verstanden, die zwischen dem Eingang einer Fehlermeldung bei einem Auftragnehmer, beispielsweise bei der unternehmenseigenen Instandhaltung, beim Hersteller einer technischen Einheit oder bei einem Instandhaltungsdienstleister usw., bis zu einer Reaktion in definiertem Umfang verstreicht.

- Weniger Abhängigkeit von Drittunternehmen sowie geringere Gefahr der Benachteiligung kleiner gegenüber größeren Unternehmen.
- Keine unbeabsichtigte Weitergabe wichtiger Informationen bezüglich Verfahrens- und Instandhaltungstechnik. Spezifisches Wissen über Geschäftsprozesse bleibt im Unternehmen.
- Gute Motivation und hohe Leistungsbereitschaft der unternehmenseigenen Mitarbeiter durch hohe Wertschätzung und Anerkennung als „Spezialisten im Unternehmen“.
- Geringere Kosten durch Einsatz unternehmenseigener Mitarbeiter, da die Instandhaltungsleistungen von Drittunternehmen nur in Sonderfällen benötigt werden. Im Vergleich sind die Stundenverrechnungssätze der Drittunternehmen meist höher als die der unternehmenseigener Mitarbeiter.

Gegen die Eigeninstandhaltung durch unternehmenseigene Mitarbeiter sprechen:

- Höheres Risiko bei Abwesenheit der unternehmenseigenen Mitarbeiter, da es zu Verzögerungen in der Wertschöpfung mit negativen Auswirkungen kommen kann und gegebenenfalls Liefertermine nicht eingehalten werden können.
 - Geringere Qualifizierung der unternehmenseigenen Mitarbeiter und weniger Einsatz von Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. aufgrund hoher Aus- und Weiterbildungskosten bzw. Anschaffungskosten für modernere Technologien.
 - Überforderung der unternehmenseigenen Mitarbeiter durch zu großes Aufgabenspektrum und immer komplexer werdende und mit modernster Technologie ausgestattete technische Einheiten.
 - Mangelhafte Durchführung von Instandhaltungstätigkeiten oder Ausfall von unternehmenseigenen Mitarbeitern durch Überlastung bei begrenzten Instandhaltungskapazitäten.
 - Keine Verbesserungen durch fehlenden Wissenstransfer zur Kompetenzerweiterung der unternehmenseigenen Mitarbeiter, da sie sich zu stark auf Instandhaltungstätigkeiten im eigenen Unternehmen konzentrieren.
 - Hohes Beschäftigungs- und Kostenrisiko bei zu geringer Auslastung der unternehmenseigenen Mitarbeiter; möglicherweise arbeitsrechtliche, betriebspolitische und finanzielle Folgen, wie Leerkosten und schlechtes Betriebsklima.
- Als **Fremdinstandhaltung** wird die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen durch unternehmensfremdes Instandhaltungspersonal von Drittunternehmen für Instandhaltungsleistungen bezeichnet. Dabei kann die Instandhaltung durch *Mitarbeiter des Herstellers* einer technischen Einheit, *spezialisierte Instandhaltungsdienstleister*, *lokale Handwerksbetriebe* sowie *ausgegliederte Instandhaltungsbereiche des Betreiberunternehmens* ausgeführt werden [vgl. Bloß, 1995, S. 126-129], [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 141-147].

Der Hauptgrund für den teilweisen oder sogar kompletten Fremdbezug der Instandhaltungsleistungen ist häufig die Konzentration der Unternehmen auf die eigentliche Kernkompetenz und die dazugehörigen Hauptgeschäftsprozesse (direkte Geschäftsprozesse). Das Outsourcing der Nebengeschäftsprozesse (indirekte Geschäftsprozesse) ermöglicht es, die Aufmerksamkeit eher den produktions- und kundenwirksamen Tätigkeiten zu widmen. Dadurch erfolgt häufig eine Kapazitätsanpassung der Instandhaltung, aber auch eine Reduzierung der Kosten für die einzusetzenden Instandhaltungsressourcen. Allerdings ist ein Fremdbezug von Instandhaltungsleistungen in vielen Unternehmen auch darin begründet, dass es überhaupt keine unternehmenseigene Instandhaltung gibt. In anderen Fällen stehen unternehmenseigene Mitarbeiter nicht in ausreichender Anzahl und mit entsprechender Fachkompetenz und Qualifikation für die Instandhaltung der technischen Einheiten zur Verfügung.

Die Fremdinstandhaltung hat verschiedene Vor- und Nachteile [vgl. Coene, 1992, S. 22-23], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 122-124], [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 141-147]. Für den Fremdbezug von Instandhaltungsleistungen von Drittunternehmen sprechen:

- Bedarfsorientierte, meist umfassende Fachkompetenz auf einem hohen Qualifikationsniveau des unternehmensfremden Instandhaltungspersonals, sodass sich in Verbindung mit einer hohen Auslastung schnelle Lernkurveneffekte einstellen.
- Schnelle Durchführung der Instandhaltungstätigkeiten durch kontinuierliche Erweiterung der Fachkompetenz und sich wiederholende Problemstellungen sowie den ständigen Einsatz von modernsten Technologien und Spezialwerkzeugen.
- Große Erfahrung mit modernster Diagnosetechnologie, beispielsweise Schwingungsanalyse²², Stromaufnahmemeßung²³, Thermographie²⁴ oder Kreisformtest²⁵.
- Höhere Qualität bei der Instandhaltung im Falle des Bezuges von Leistungen durch den Hersteller, da Spezialwissen schon in der Entwicklungsphase einer technischen Einheit aufgebaut wird und wichtige Kompetenzen erweitert werden können.
- Kürzere Instandhaltungsdauer durch umfassendere Fachkompetenz bei hohem Qualifikationsniveau und größeren Erfahrungen des unternehmensfremden Instandhaltungspersonals; gewisse Zeitvorteile bei komplexeren Instandhaltungsmaßnahmen.
- Vereinbarte Gewährleistung für die Instandhaltungseinsätze stellt die Qualität sicher, sodass bei mangelhafter Durchführung das Risiko auf das Drittunternehmen übergeht. Gleichzeitig bessere Durchsetzung von Gewährleistungsansprüchen.
- Bessere Zeit- und Kapazitätsausnutzung im Falle des Leistungsbezugs von Instandhaltungsdienstleistern und Handwerksbetrieben auch außerhalb der üblichen Betriebszeiten aufgrund häufig anderer Tarifverträge und Betriebsvereinbarungen.
- Einsparungen bei Reservekapazitäten und geringere Fixkosten für unternehmenseigene Mitarbeiter durch Ausgleich von Spitzenbelastungen mit unternehmensfremdem Instandhaltungspersonal.
- Günstiger Leistungsbezug von Instandhaltungsdienstleistern und Handwerksbetrieben aufgrund von spezialisierungs- und synergiebedingt möglichen Einsparungen sowie anderen Unternehmens-, Personal- und Kostenstrukturen.
- Mehr Transparenz und bessere Gesamtbewertung der Instandhaltungskosten durch eindeutigere Zuordnung der einzelnen Instandhaltungsleistungen der Drittunternehmen bezüglich der jeweiligen Kostenstellen²⁶.
- Häufig geringere Fixkosten für die Ersatzteilbereitstellung aufgrund eines unternehmensübergreifenden Ersatzteilmanagements der Drittunternehmen.

Gegen den Fremdbezug von Instandhaltungsleistungen von Drittunternehmen sprechen:

- Oft wenig geeignete Anbieter für professionelle Instandhaltung. Aus regionalen und marktspezifischen Gründen können notwendige Reaktionszeiten nicht zugesichert werden. Häufig fehlt auch die entsprechende Fachkompetenz und Qualifikation.

²² *Schwingungsanalyse* – Die Schwingungsanalyse befasst sich mit der Ermittlung von dynamischen Eigenschaften schwingender elastomechanischer Strukturen.

²³ *Stromaufnahmemeßung* – Die Stromaufnahmemeßung dient zur Feststellung des Leistungsbedarfs von elektrischen bzw. elektronischen Komponenten, wodurch eine erhöhte Stromaufnahme oder Spannungsspitzen oder sich anbahnende Störungen frühzeitig erkannt bzw. deren Ursachen analysiert werden können.

²⁴ *Thermographie* – Die Thermographie ist ein bildgebendes Verfahren, welches Temperaturverteilungen sichtbar macht, indem dabei für das menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlungen (Infrarotlicht) eines Objektes oder Körpers mit Hilfe von Spezialkameras sichtbar gemacht werden.

²⁵ *Kreisformtest* – Der Kreisformtest ist eine Methode zur einfachen und schnellen Überprüfung der Positioniergenauigkeit von Werkzeugmaschinen mittels weggeberbasierten Vergleichsmessungen nach anerkannten internationalen Standards.

²⁶ *Kostenstelle* – Als Kostenstelle wird der Ort der Kostenentstehung bezeichnet, welchem die anfallenden Kosten, beispielsweise für die Durchführung einer Instandhaltungsmaßnahme, zugeordnet werden und der als Bezugsgröße für die Kostenrechnung dient.

- Hohe Auslastung der Spezialisten von Drittunternehmen und oftmals lange (An-) Reisezeiten verhindern bei kurzfristigen Störungen und Ausfällen ein schnelles Reagieren zur Instandhaltungsdurchführung.
 - Eventuelle Vernachlässigung kleiner Unternehmen gegenüber großen Unternehmen bei personellen Engpässen, sodass dem kleineren Unternehmen möglicherweise hohe Ausfall- und Ausfallfolgekosten entstehen.
 - Häufig fehlendes Vertrauensverhältnis zwischen dem Betreiber von technischen Einheiten und den Drittunternehmen behindert die Zusammenarbeit, sodass kein ausreichender Informationsfluss stattfindet und Aktivitätsfelder ungenutzt bleiben.
 - Für Betreiber von technischen Einheiten besteht die Gefahr, Kernkompetenzen, sensible Informationen oder spezifisches betriebsinternes Verfahrenswissen zu verlieren.
 - Entstehung einer Abhängigkeiten, da beim Betreiber von technischen Einheiten ein Verlust von Wissen und Fachkompetenz zur Instandhaltung stattfindet und sich dadurch Barrieren für einen Abbruch der Geschäftsbeziehungen aufbauen.
 - Höhere Kosten für die entsprechende Verfügbarkeit von technischen Einheiten, da je nach vereinbarter Reaktionszeit, Fachkompetenz und Qualifikation die nötigen Aufwendungen zur Instandhaltung sehr kostenintensiv sein können.
- Als **Anbieter von Fremdinstandhaltung** sind die *Hersteller von technischen Einheiten, spezialisierte Instandhaltungsdienstleister, lokale Handwerksbetriebe* sowie gegebenenfalls *ausgegliederte Instandhaltungsbereiche der Betreiberunternehmen* zu sehen [vgl. Biermaier, 1990, S. 184-185], [vgl. Bloß, 1995, S. 126-129].
 - Die **Hersteller von technischen Einheiten** bieten Instandhaltungsleistungen für die von ihnen produzierten technischen Einheiten an [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 116]. Dabei beschränkte sich der Umfang der angebotenen Instandhaltungsleistungen bis vor wenigen Jahren nur auf den Kundenservice, etwa die Instandsetzung bei Störungen oder Ausfällen oder die Bereitstellung von Ersatzteilen. Heutzutage sind die Hersteller bestrebt, möglichst attraktive Angebote zur Instandhaltung und zusätzliche Leistungen anbieten zu können. Der Fremdbezug von Instandhaltungsleistungen der Hersteller spielt vor allem bei sehr komplexen, hoch automatisierten und kapitalintensiven technischen Einheiten eine besondere Rolle, da hohe Fachkompetenz erforderlich ist. Der Wissenserwerb für die unternehmenseigenen Instandhaltungsmitarbeiter wäre mit hohem Zeitaufwand und hohen Kosten verbunden. Der *Vorteil* der Hersteller liegt darin, dass sie sich schon während der Entwicklungsphase sehr intensiv mit Instandhaltungsfragen und -angeboten der von ihnen herzustellenden technischen Einheiten beschäftigen können [vgl. Fromme u. Schimmelpfeng, 1997, S. 19], [vgl. Becker u. a., 1999, S. 49], [vgl. Granthien, 2002, S. 172-174].
 - Die **Instandhaltungsdienstleister** bieten als eigenständige Unternehmen eine große Vielfalt von herstellerunabhängigen Instandhaltungsleistungen an. In Abhängigkeit von der Größe und Spezialisierung des entsprechenden Dienstleisters reichen die angebotenen Instandhaltungsleistungen von einfachen Reinigungs- und Wartungstätigkeiten über die geplante Instandhaltung, instandhaltungsbezogene Beratung sowie Ingenieursdienstleistungen bis hin zur kompletten Übernahme von umfangreichen Aktivitäten zur Instandhaltung von technischen Einheiten. Die dafür notwendige Kundennähe wird oft über ein flächendeckendes Servicenetz gewährleistet oder mit entsprechenden Leistungspaketen abgesichert [vgl. Fromme u. Schimmelpfeng, 1997, S. 21], [vgl. Becker u. a., 1999, S. 49], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 117], [vgl. Granthien, 2002, S. 178-179].
 - Bei **lokalen Handwerksbetrieben** kann auf Fachkräfte für bestimmte Einzelleistungen der Instandhaltung zurückgegriffen werden. Das territoriale Einsatzgebiet ist dabei zwar meist begrenzt, dennoch ist dies vor allem für räumlich weit verteilte Unternehmen eine interessante Möglichkeit zum Bezug von Instandhaltungsleistungen [vgl. Bloß, 1995, S. 128], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 117].

- Ein **ausgegliederter Instandhaltungsbereich** als rechtliche Verselbständigung einer bisher unternehmenseigenen Instandhaltung stellt eine weitere Möglichkeit für den Fremdbezug von Instandhaltungsleistungen dar. Ein häufig aus wirtschaftlichen und organisatorischen Gründen ausgegliederter Instandhaltungsbereich tritt meist als Generalunternehmer für das bisher eigene Unternehmen auf, wobei er sich dann auch dem Wettbewerb mit anderen Anbietern stellen muss [vgl. Bloß, 1995, S. 128]. Gleichzeitig bieten die ehemals internen Instandhaltungsbereiche auch Instandhaltungsleistungen gegenüber anderen Unternehmen zu marktüblichen Preisen an, sodass durch häufige Optimierung der Instandhaltungsressourcen eine erfolgswirtschaftliche Organisation (engl. Profit Center) entsteht. Das entstandene Profit Center ist für das Ergebnis verantwortlich und richtet seine Kapazitäten daran aus [vgl. Bloß, 1995, S. 129]. Aufgrund der Übernahme von Instandhaltungsaufgaben auch bei „anderen (externen) Kunden“ lassen sich weitere Erfahrungen und neues Wissen hinzugewinnen; bei den Führungskräften stellt sich nach der Ausgliederung oft eine steigende Motivation ein.
- Die **Entscheidung zwischen Eigen- und Fremdinstandhaltung** hängt in erster Linie davon ab, welches Instandhaltungsvermögen in einem Unternehmen vorhanden ist und inwieweit unternehmenseigene Mitarbeiter eingesetzt werden können.

Als Argument für den Fremdbezug von Instandhaltungsleistungen ist der fakultative Ausgleich von Spitzenbedarf zu sehen. Dabei wird im Regelfall die Instandhaltung durch unternehmenseigene Mitarbeiter erledigt und erst bei Kapazitätsengpässen wird unternehmensfremdes Instandhaltungspersonal eingesetzt. Dadurch kann die Grundlast an Instandhaltungsleistungen abgedeckt werden und es müssen nicht gleichzeitig Instandhaltungskapazitäten für den Spitzenbedarf vorgehalten werden. Die sich daraus ergebenden Vorteile sind einerseits der Wegfall von Leerkosten der Instandhaltung und andererseits die Flexibilisierung der Kosten für den Spitzenbedarf [vgl. Bloß, 1995, S. 129-130], [vgl. VDI 2899, 1996, S. 4], [vgl. Fromme u. Schimmelpfeng, 1997, S. 20-21].

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Spezialleistungen dauerhaft fremd zu vergeben. Dies erfolgt, wenn keine wirtschaftliche Auslastung von hochqualifizierten Instandhaltungsmitarbeitern und Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. möglich ist, aber ein gewisser Grad an Erfahrung und Fachkompetenz notwendig ist. Die Kosten für Aus- und Weiterbildung von unternehmenseigenen Mitarbeitern sowie für Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. werden somit eingespart und auf das Drittunternehmen übertragen [vgl. Bloß, 1995, S. 130], [vgl. Fromme u. Schimmelpfeng, 1997, S. 21].

Der vollständige Fremdbezug von Instandhaltungsleistungen erlaubt dem Drittunternehmen für die gesamte Instandhaltung als Generalunternehmen aufzutreten, sodass durch den Betreiber der technischen Einheiten nicht zwingend eine Vorhaltung von unternehmenseigenen Mitarbeitern für die Instandhaltung notwendig ist. Bei vollständigem Fremdbezug ergibt sich zudem ein nützlicher Nebeneffekt: Eine detaillierte Abrechnung über die einzelnen Leistungen verbessert die Kostentransparenz erheblich [vgl. Bloß, 1995, S. 132].

Nicht zuletzt entscheiden sicherlich auch die Verfügbarkeit von geeigneten Drittunternehmen, die (Vertrags-) Bedingungen unter denen eine Zusammenarbeit befristet oder dauerhaft stattfinden kann, und schlussendlich auch die anfallenden Kosten, inwieweit ein Fremdbezug von Instandhaltungsleistungen für ein Betreiberunternehmen von technischen Einheiten sinnvoll ist oder nicht.

In Abbildung 2.20 ist eine Entscheidungsmatrix für den Fremdbezug dargestellt.

Anbieter von Instandhaltungsleistungen	Hersteller der technischen Einheiten	Instandhaltungsdienstleister	Lokale Handwerksbetriebe	Ausgegliederte Instandhaltungsbereiche
Strategien zum Fremdbezug von Instandhaltungsleistungen				
Fakultativer Ausgleich von Spitzenbedarfen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fakultative Verlagerung von Spezialleistungen	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dauerhafte Verlagerung von Leistungspaketen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vollständige Verlagerung der Instandhaltungsleistungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

☒ *geeignet* ☐ *bedingt geeignet*

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Bloß, 1995, S. 134]

Abbildung 2.20: Eignung für den Fremdbezug von Instandhaltungsleistungen

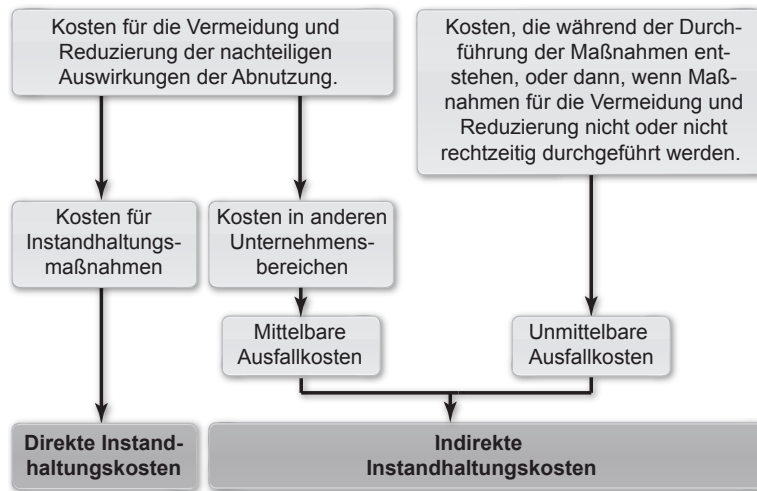
2.3.3 Instandhaltungskosten

Bei den Kosten für die Instandhaltung wird zwischen den *direkten* und *indirekten Instandhaltungskosten* unterschieden. Die **direkten Instandhaltungskosten** umfassen die Kosten zur Vermeidung und Reduzierung der nachteiligen Auswirkungen der Abnutzung von technischen Einheiten. Dabei beinhalten sie einerseits die Kosten für Instandhaltungsmaßnahmen zur Erhaltung, Kontrolle und Wiederherstellung sowie Verbesserung bzw. zur Erhöhung der Funktions- und Leistungsfähigkeit von technischen Einheiten. Andererseits erfolgt dabei eine Abgrenzung zu den Kosten, die in anderen Unternehmensbereichen zur Bekämpfung der nachteiligen Auswirkungen der Abnutzung anfallen und als *mittelbare Ausfallkosten* den **indirekten Instandhaltungskosten** zugerechnet werden [vgl. Kalaitzis, 1990, S. 71-72]. Die indirekten Instandhaltungskosten werden auch als „*Ausfall- und Ausfallfolgekosten*“ bezeichnet, obwohl der Begriff der „indirekten Instandhaltungskosten“ geeigneter scheint [vgl. Männel, 1992, S. 731-732]. Sie entstehen, wenn Instandhaltungsmaßnahmen überhaupt nicht oder nicht rechtzeitig durchgeführt werden bzw. während der Durchführung der verschiedenen Instandhaltungsmaßnahmen. Das Resultat daraus sind die *unmittelbaren Ausfallkosten* der betrachteten technischen Einheit, die sich für die Betreiberunternehmen der technischen Einheit wiederum in *Stillstandskosten* und *entgangene Deckungsbeiträge*²⁷ aufteilen [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 52].

Die Abgrenzung von direkten und indirekten Instandhaltungskosten spielt eine wichtige Rolle für die Planung und Budgetierung der direkten Instandhaltungskosten, die Wahl der optimalen Instandhaltungsstrategie, für die Entscheidung zwischen Eigen- und Fremdinstandhaltung und für die Ermittlung der richtigen Reihenfolge der Instandhaltungsmaßnahmen [vgl. Adam, 1989, S. 99], [vgl. Kalaitzis, 1990, S. 72], [vgl. Heck, 1992, S. 688-690]. Allerdings sind die indirekten Instandhaltungskosten oft schwierig zu ermitteln, da für sie in den Kostenrechnungssystemen der Unternehmen meist keine Erfassung vorgesehen ist.

²⁷ *Deckungsbeitrag* – Der Deckungsbeitrag ist in der Kosten- und Leistungsrechnung die Differenz zwischen den erzielten Erlösen (Umsatz) und den variablen Kosten. Es handelt sich somit um den Betrag, der zur Deckung der fixen Kosten zur Verfügung steht. Der Deckungsbeitrag kann sowohl auf die Gesamtmenge eines Produktes bezogen sein als auch auf eine Mengeneinheit (Stückgröße) [vgl. Wöhe u. Döring, 2008, S. 329].

In Abbildung 2.21 ist die Abgrenzung zwischen direkten und indirekten Instandhaltungskosten dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Kalaitzis, 1990, S. 72] und [vgl. Heck, 1992, S. 689]

Abbildung 2.21: Abgrenzung zwischen direkten und indirekten Instandhaltungskosten

2.3.3.1 Direkte Instandhaltungskosten

Die **direkten Kosten für Instandhaltungsmaßnahmen** unterteilen sich in *Kosten für geplante Maßnahmen mit vorbeugender Wirkung* und *Kosten für geplante und nicht geplante Maßnahmen zur Störungs- oder Ausfallbeseitigung*. Zu den Kosten für Maßnahmen mit vorbeugender Wirkung werden Wartungs- bzw. Inspektionskosten gezählt, die sich wiederum in Kosten für das Reinigen, Konservieren und Schmieren, Nachstellen sowie das Ergänzen von Hilfsstoffen, Auswechseln von Hilfsstoffen und für Kleinteile unterteilen. Zu den Kosten für Maßnahmen zur Störungs- oder Ausfallbeseitigung zählen Instandsetzungskosten, die sich in Kosten für das Ausbessern und Austauschen von Reserve- und Verschleißteilen sowie in Kosten für Verbesserungsmaßnahmen unterteilen lassen [vgl. Männel, 1989, S. 249-250].

Die einzelnen Kostenkategorien lassen sich noch weiter differenzieren [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 46], [vgl. Kalaitzis, 2004, S. 42, 46]:

- Personalkosten (Löhne, Gehälter, Sozialkosten)
- Fremdleistungskosten (Bereitschaftsdienste, Bereitstellung von Spezialisten, Spezialgeräte, Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen und Transportleistungen, usw.)
- Betriebsmittelkosten
- Ersatzteilkosten
- Hilfs- und Betriebsstoffkosten
- Energiekosten
- Kapitalkosten
- Sonstige Kosten (beispielsweise für Rechte, Lizenzen, Informationen)

Die direkten Instandhaltungskosten lassen sich *relativ gut* bestimmen und abrechnen. Auch die Höhe der Fremdinstandhaltungskosten ergibt sich aus den Verträgen und Einzelrechnungen der Drittunternehmen. Somit sind die direkten Instandhaltungskosten sehr genau erfassbar und können detailliert für jedes einzelne Instandhaltungsobjekt abgerechnet werden.

2.3.3.2 Indirekte Instandhaltungskosten

Als **indirekte Instandhaltungskosten** sind diejenigen Kosten zu verstehen, deren *Auswirkungen den Unternehmenserfolg nachteilig beeinflussen* und deren Ursachen in Störungen oder Ausfällen von tech-

nischen Einheiten liegen. Es wird dabei zwischen *Stillstandskosten*, die einen wesentlichen Anteil der Ausfallkosten darstellen [vgl. Lauenstein u. a., 1993, S. 129], und den *Deckungsbeitragsverlusten* infolge von Erlöseinbußen, die einen großen Teil der Ausfallfolgekosten ausmachen, unterschieden [vgl. Bloß, 1995, S. 73].

Die **Stillstandskosten** bezeichnen die Kosten, die durch Störungen und Ausfälle einer technischen Einheit anfallen und aufgebracht werden müssen, um die festgelegte Planbeschäftigung zu erfüllen [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 51-52]. Dazu zählen Kosten, um die Produktionsverluste wieder aufzuholen, die durch Überstunden, Bereithalten von zusätzlichen Reservekapazitäten und Zwischenlagerung entstehen [vgl. Adam, 1989, S. 125], [vgl. Beckmann u. Marx, 1994, S. 27-33], [vgl. Bloß, 1995, S. 73-75]. Überdies werden auch Kosten für Nacharbeit aufgrund schlechter Produktqualität wie auch Kosten für den notwendigen Fremdbezug von Leistungen bzw. Zwischenprodukten dazu gerechnet, falls aus zeitlichen Gründen keine Eigenleistungen mehr erbracht werden können [vgl. Zhang, 1990, S. 42].

Bei der Stillsetzung einer technischen Einheit entstehen ebenfalls Kosten. Die dafür notwendigen Gründe können Reduzierung der Leistung, Trennung vom Produktions- und Energieversorgungssystem, Entleeren von Produkten und Betriebsmaterial sowie Abkühlen der technischen Einheit sein [vgl. Adam, 1989, S. 123-125], [vgl. Lauenstein u. a., 1993, S. 126], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 51-52]. Analog zu den Kosten für die Stillsetzung einer technischen Einheit entstehen auch Wiederinbetriebnahmekosten. Beispielhaft sind hier Aufwendungen für das Einrichten, die Abnahme- und Funktionsprüfung, das Warmfahren und der Probetrieb zu nennen sowie die Kosten für anfänglichen Ausschuss bzw. eine verminderte kapazitive und qualitative Leistungsfähigkeit beim Hochlaufen einer technischen Einheit [vgl. Adam, 1989, S. 124-125], [vgl. Lauenstein u. a., 1993, S. 127-128], die sich auch in einem erhöhten Verbrauch von Einsatzstoffen und Energie ausdrücken kann [vgl. Beckmann u. Marx, 1994, S. 35-36], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 53-54]. Bei kurzen Ausfallzeiten entstehen auch Personalkosten aus Wartezeiten [vgl. Adam, 1989, S. 125]. Diese Kosten entfallen allerdings nach einer gewissen Stillstandszeit, da den Bedienern von technischen Einheiten verschiedene Ausweichtätigkeiten zugewiesen werden können [vgl. Adam, 1989, S. 129], [vgl. Biedermann, 1990, S. 136] bzw. auf flexible Arbeitszeitregelungen keine Lohnkosten anfallen.

Ein bedeutender Kostenfaktor ist auch der Verkettungsgrad²⁸ der technischen Einheiten. Er bestimmt in Abhängigkeit von bestehenden Zwischenlagern oder Redundanz, wie stark sich die Folgen einer Leistungsreduzierung auf vor- und nachgelagerte Prozesse auswirken, und damit, ob zusätzliche Stillstandskosten entstehen [vgl. Zhang, 1990, S. 40-44], [vgl. Biedermann, 1990, S. 136].

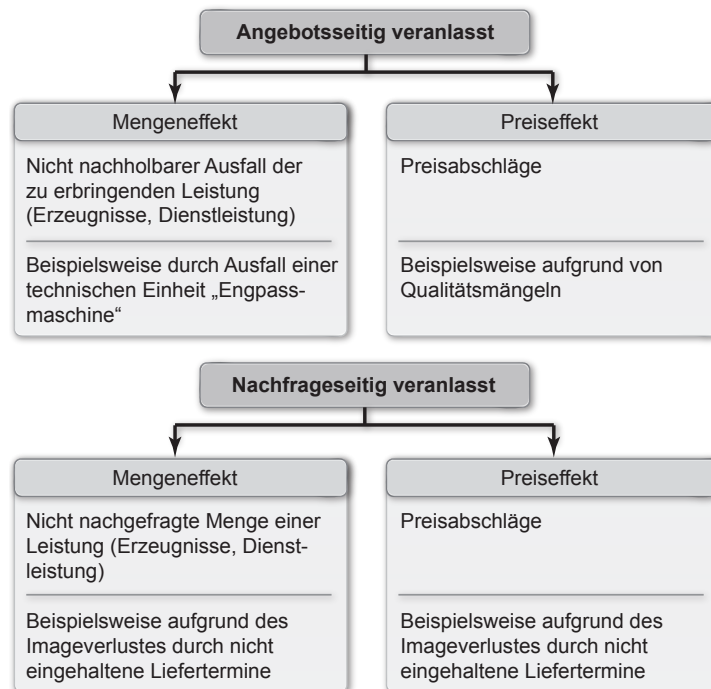
Die **entgangenen Deckungsbeiträge** bilden den zweiten Teil der indirekten Instandhaltungskosten. Sie entstehen durch den Produktionsausfall, wenn es zu (Produktions-) Verlusten und somit zu geringeren Erlösen aus dem Ausbringungsgut kommt. Dies kann sowohl angebotsseitig wie auch nachfrageseitig bestimmt sein [vgl. Bloß, 1995, S. 74-75]. Angebotsseitige Deckungsbeitragsverluste hängen meist davon ab, inwieweit es sich bei der betroffenen technischen Einheit um eine Schlüsselanlage (Engpass mit voller Kapazitätsausnutzung) handelt und es zu einem nicht mehr aufholbaren Produktionsverlust kommt [vgl. Zhang, 1990, S. 43]. Möglicherweise müssen Produktionsaufträge kurzfristig fremd vergeben werden, was zu Zusatzkosten führen würde und dadurch den Erlös schmälern würde.

Darüber hinaus kann eine verminderte Funktions- und Leistungsfähigkeit einer Schlüsselanlage eine reduzierte Produktions- und Absatzmenge nach sich ziehen. Nachfrageseitig kann es dadurch zur Nichteinhaltung von Lieferterminen, Abwanderung von Kunden, Imageverlusten sowie zu einer Nichtberücksichtigung bei künftigen Aufträgen kommen. Dies alles sind in Geldeinheiten ausdrückbare Verluste, die wiederum verspätete Einnahmen, Erlösminderungen oder sogar Schadensersatzzahlungen sowie Konventionalstrafen nach sich ziehen können [vgl. Bloß, 1995, S. 73-75].

²⁸ *Verkettungsgrad* – Der Verkettungsgrad beschreibt das Verhältnis von verketteten technischen Einheiten zur Gesamtzahl aller technischen Einheiten.

Neben den reduzierten Produktions- und Absatzmengen sind auch Preiseffekte zu berücksichtigen. Gelingt es angebotsseitig, trotz verminderter Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten verkaufsfähige Produkte herzustellen, so können die Ausbringungsgüter dennoch beschädigt sein oder Qualitätsmängel aufweisen, die zu Preisabschlägen führen können [vgl. Männel, 1989, S. 138-139]. Nachfrageseitig kann es auch zu einem Preisdruck kommen, wenn das verlorene Vertrauen infolge von Lieferproblemen mittels Preiszugeständnissen auch für tadellose Produkte wieder zurückgewonnen werden soll [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 52].

In Abbildung 2.22 ist eine Systematisierung der entgangenen Deckungsbeiträge dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Alcalde Rasch, 2000, S. 53]

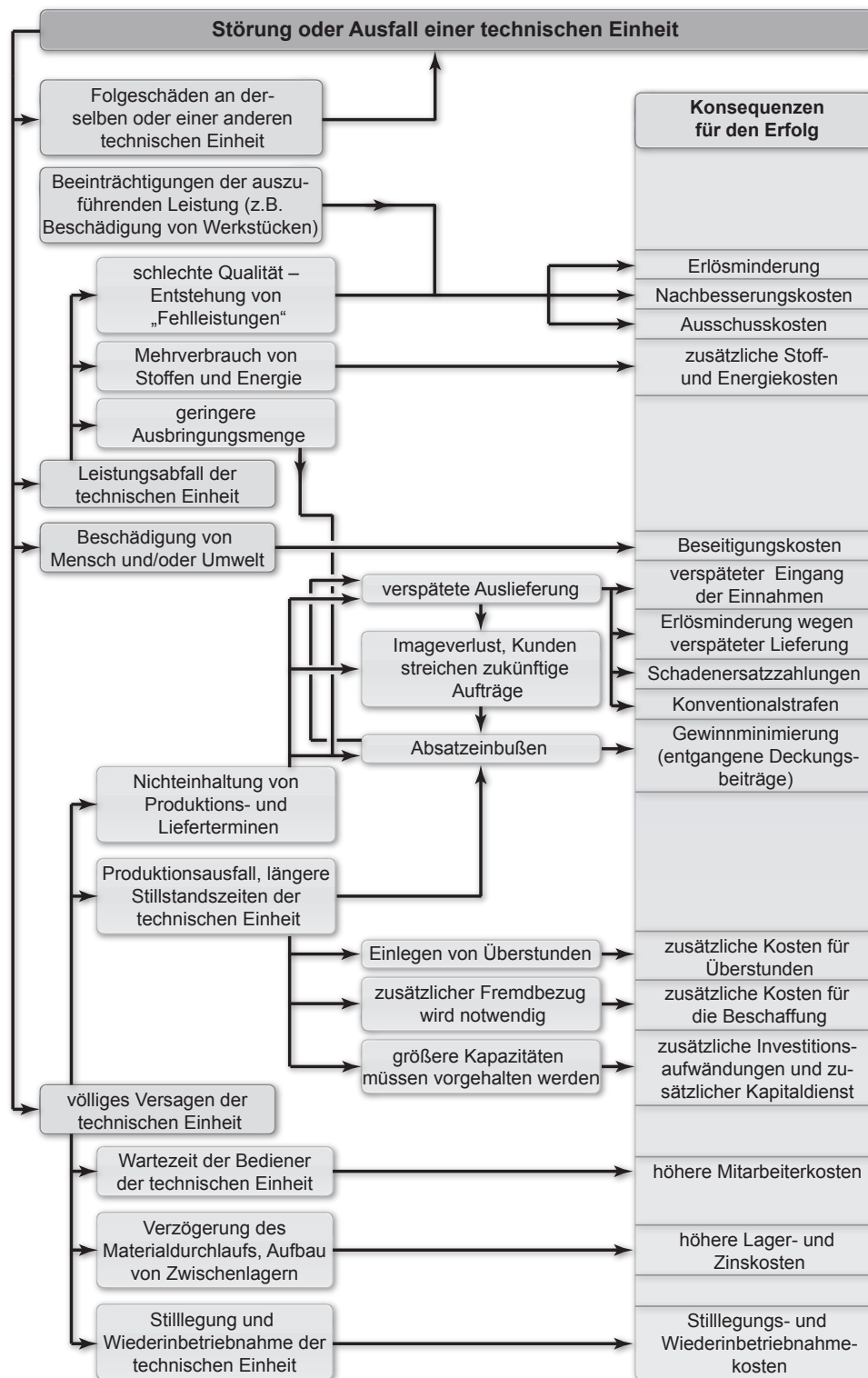
Abbildung 2.22: Entgangene Deckungsbeiträge durch den Ausfall einer technischen Einheit

Darüber hinaus können Kosten auch aus Schäden entstehen. Es handelt sich dabei um Folgeschäden an Teilen der instand zu haltenden technischen Einheit und an anderen technischen Einheiten, welche die bereits genannten Kosten für Produktionsausfälle, reduzierte Leistungsfähigkeit sowie direkte Kosten für weitere Instandhaltungsmaßnahmen zur Folge haben. Zusätzlich können sich Schadenskosten aus der Verletzung von Mensch und Umwelt ergeben; für deren Beseitigung fallen ebenso Kosten an [vgl. Männel, 1989, S. 138-139], [vgl. Bloß, 1995, S. 74-75].

In Abbildung 2.23 sind die Ausfallfolgen einer nur teilweise oder gar nicht funktions- und leistungsfähigen technischen Einheit dargestellt.

Die indirekten Instandhaltungskosten sind meist nur teilweise erfass- und quantifizierbar, sodass sie von den Unternehmen nur zum Teil oder oft gar nicht ermittelt werden [vgl. Bloß, 1995, S. 74]. Wenn überhaupt, kommen meist nur grobe Schätzungen zum Einsatz. Stillstandsverluste sind im Gegensatz dazu mit vertretbarem Aufwand und mit Hilfe von betrieblichen Datenverarbeitungssystemen feststellbar. Dies gilt auch für Vertragsstrafen, Kosten für Mehrarbeit, zusätzlichen personellen Aufwand und die aus Qualitätseinbußen häufig folgenden Erlösminderungen sowie Nacharbeitskosten. Im Gegensatz dazu sind erhöhte Betriebskosten schlecht bezifferbar, da sie als solche nicht erkannt werden. Ein großes Problem stellt dabei die Erfassung von Kosten aus Folgeschäden dar. Weiterhin ist die Fortschreibung von Stillstandsverlusten einer technischen Einheit auf die betriebliche Finalproduktion schwer zu quantifizieren [vgl. Lauenstein u. a., 1993, S. 137-144] und meist

sind fehlende Deckungsbeiträge aus Imageverlusten nicht ermittelbar [vgl. Böning, 1997, S. 75-76], [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 53].



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Männel, 1989, S. 239]

Abbildung 2.23: Folgen bei Ausfall von einem Element einer technischen Einheit

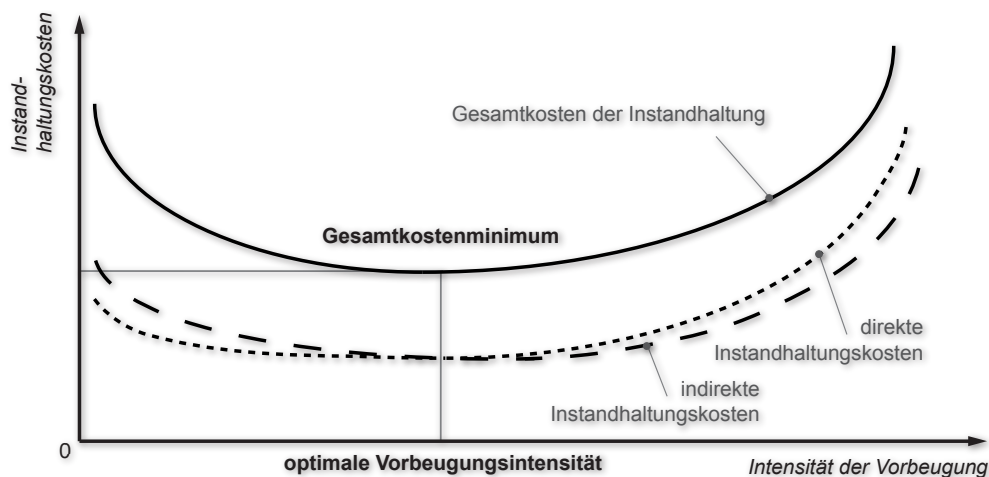
2.3.3.3 Idealtypische Kostenverlaufskurve

Die **Verlaufskurve der direkten Instandhaltungskosten** ergibt sich aus den Kosten, die durch geplanten und nicht geplanten Instandhaltungsmaßnahmen entstehen. Zwischen den beiden Maßnahmen besteht ein indirekt proportionaler Zusammenhang. Wird auf geplante vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen verzichtet bzw. werden diese Maßnahmen nur in einem geringen Umfang durchgeführt, so können die Kosten sowohl für geplante wie auch für nicht geplante Instandhaltungsmaßnahmen zur Behebung möglicher Schäden höher sein. Aufgrund von zufälligen Störungen und Ausfällen lassen sich auch trotz hoher Vorbeugungsintensität die nicht geplanten schadensbehebenden Instandhaltungsmaßnahmen nicht vollständig vermeiden [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 81-82]. Mit Hilfe von Verbesserungsmaßnahmen können Vorkehrungen getroffen werden, um das Auftreten zufälliger Störungen und Ausfälle zu reduzieren. Der dazu notwendige finanzielle Aufwand wird den direkten Instandhaltungskosten zugerechnet.

Die **Verlaufskurve der indirekten Instandhaltungskosten** sinkt mit steigender Instandhaltungsintensität und durch geringere Stillstandskosten. Aufgrund des höheren Zeitbedarfs und eines intensiveren Personaleinsatzes für geplante schadensvorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen steigt jedoch die Verlaufskurve der indirekten Instandhaltungskosten wieder an [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 82]. Dabei spielen der zusätzliche Einsatz von modernen Technologien und Betriebsmittel sowie die Nutzung von Drittunternehmen und ein vorbeugender Austausch von Ersatzteilen eine große Rolle. Allerdings kann es dadurch zu Frühausfällen der ausgetauschten Ersatzteile kommen (vgl. Kapitel 2.2.6.3), die ihrerseits wiederum zu einer beschränkten Einsatzkapazität bzw. zum Stillstand einer technischen Einheit führen können. Trotzdem trägt dies jeweils zu den indirekten Instandhaltungskosten bei, auch wenn die Ausfallkosten mit steigender Instandhaltungsintensität bzw. ab einem bestimmten Niveau der Instandhaltungsmaßnahmen sinken [nach Adam, 1989, S. 108-111], [vgl. Matyas u. Brunner, 2005, S. 50, 54-56].

Die **Gesamtkostenverlaufskurve der Instandhaltung** ergibt sich durch die Vereinigung der *direkten Instandhaltungskosten* mit den *indirekten Instandhaltungskosten*. Die Ermittlung des Gesamtkostenminimums ist allerdings oft mit großen Schwierigkeiten verbunden. Aufgrund erheblicher Intransparenzen, speziell bei der Kostenerfassung und -detaillierung, kann deshalb häufig nur im Rahmen einer modellhaften Betrachtung das Gesamtkostenminimum der Instandhaltung ermittelt werden [vgl. Alcalde Rasch, 2000, S. 81-83]. Welchen Stellenwert das Gesamtkostenminimum der Instandhaltung gegenüber der Produktivität im Zielsystem der einzelnen Unternehmen einnimmt, muss jedoch jedes Unternehmen für sich selbst entscheiden.

In Abbildung 2.24 ist die Gesamtkostenverlaufskurve der Instandhaltung dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Adam, 1989, S. 108-111], [Alcalde Rasch, 2000, S. 81] und [Matyas, 2005, S. 50]

Abbildung 2.24: Idealtypische Gesamtkostenverlaufskurve der Instandhaltung

2.3.4 Allgemeines Grundscheema der Instandhaltung

Das allgemeine Grundscheema der **Instandhaltung** dient zur Veranschaulichung des kompletten Themenbereichs. Mit Hilfe eines morphologischen Kastens²⁹, in den sämtliche Kriterien und Merkmale der Instandhaltung samt ihren individuellen Ausprägungen eingetragen werden, ist eine konzentrierte Darstellung der Instandhaltung möglich. Gleichzeitig lässt diese Darstellung eine Analyse der verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten der Kriterien und Merkmale zu.

In Abbildung 2.25 sind die Kriterien und Merkmale der Instandhaltung mit ihren Ausprägungen dargestellt.

Kriterium/ Merkmal	Ausprägung			
Grundmaßnahmen	Wartung	Inspektion	Instandsetzung	Verbesserung
Instandhaltungs- strategien	Ausfallabhängige Instandhaltungs- strategie (Feuerwehrstrategie)	Zeit- und leistungs- abhängige Instand- haltungsstrategie (Präventivstrategie)	Zustandsabhängige Instandhaltungs- strategie (Inspektionsstrategie)	Kombination aus Feuerwehr-, Präven- tiv- und Inspektions- strategie
Instandhaltungs- konzepte	Zuverlässigkeitsabhängige Instandhaltung (RCM)	Risikoabhängige Instandhaltung (RBM)	Ganzheitlich integrierte Instandhaltung (TPM)	
Instandhaltungs- aufgaben	Instandhaltungsplanung und -steuerung	Instandhaltungsanalyse und -durchführung	Instandhaltungscontrolling	
Örtliche Verteilung der Instandhaltung	zentral	dezentral	kombiniert	
Personelle Auf- gabenverteilung	Eigeninstandhaltung	Fremdinstandhaltung	Kombination aus Eigen- und Fremdinstandhaltung	
Integration von Instandhaltungs- tätigkeiten	einfache Wartungsarbeiten	einfache Wartungs-, Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten (Routinearbeiten)	komplexe Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten sowie Verbesserungs- arbeiten	
Lagerhaltung von Ersatzteilen	zentral	dezentral	kombiniert	
Nutzung eines IPS-Systems	zentral	dezentral	kombiniert	ohne IPS-System
Instandhaltungs- kosten	Direkte Instandhaltungskosten		Indirekte Instandhaltungskosten	

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Ndouma, 1997, S. 54-59]

Abbildung 2.25: Allgemeines Grundscheema der Instandhaltung

2.4 Instandhaltung in der Praxis

Die Instandhaltung stellt als Ganzes einen sehr komplexen und sich immer wieder verändernden Themenbereich mit unterschiedlichen Sachverhalten dar. Dies gilt, weil sich jeder einzelne Anwendungsfall der Instandhaltung individuell gestaltet und auf zahlreichen unterschiedlichen Kriterien und Merkmalen basiert. Um auch einen fundierten Überblick über den Themenbereich in der Praxis zu erhalten, werden verschiedene Instandhaltungsstudien analysiert.

²⁹ *Morphologischer Kasten* – Der morphologische Kasten ist eine systematisch analytische Kreativitätstechnik nach Fritz Zwicky (*1898, †1974; Schweizer Astrophysiker). Eine mehrdimensionale Matrix bildet dabei das Kernstück der morphologischen Analyse. Die morphologische Analyse selbst ist dabei eine kreative analytische Methode, um komplexe Problem-bereiche vollständig zu erfassen und alle möglichen Lösungen unvoreingenommen zu betrachten [vgl. Schulte-Zurhausen, 2005, S. 562].

Die ausgewählten Instandhaltungsstudien wurden von namhaften Forschungsinstituten und einer international agierenden Unternehmensberatung durchgeführt. Sie beziehen sich hauptsächlich auf mittlere und große Unternehmen, sodass die Gruppe der Kleinstunternehmen und kleinen Unternehmen nicht ausreichend berücksichtigt wurde. Eine im Vorfeld dieser Arbeit separat durchgeführte Unternehmensbefragung vervollständigt allerdings die Erkenntnisse hinreichend genau.

Aufgrund der Anzahl sowie der jeweiligen Größe und Branchenzugehörigkeit der befragten Unternehmen ist ein guter Überblick zum Themenbereich der Instandhaltung und ein differenziertes Verständnis von der Situation der Instandhaltung in der Praxis möglich.

In Abbildung 2.26 sind die Instandhaltungsstudien, geordnet nach der Größe und Branchenzugehörigkeit der befragten Unternehmen, dargestellt.

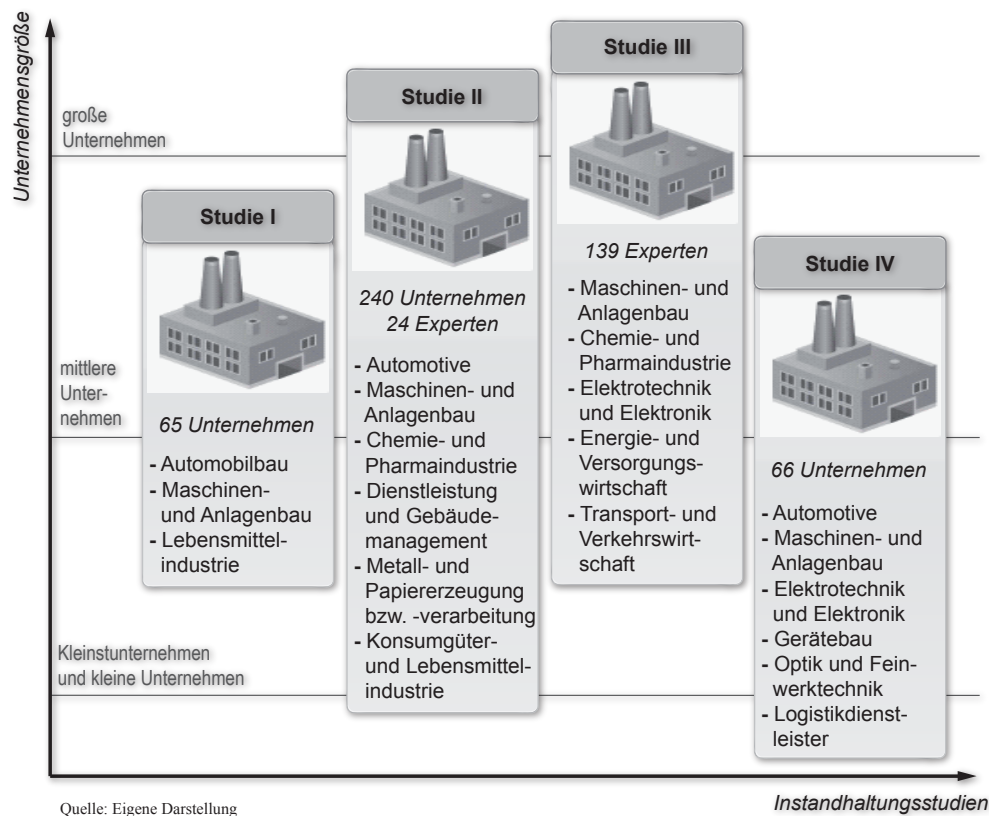


Abbildung 2.26: Studien der Instandhaltung

• Studie I: Intelligent Maintenance

Bei der Studie „*Intelligent Maintenance – Potenziale zustandsorientierter Instandhaltung*“ handelt es sich um eine Untersuchung aus dem Jahr 2005 des *Laboratoriums für Werkzeugmaschinen und Betriebswirtschaftslehre (WZL)* der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen und des *Fraunhofer Instituts für Produktionstechnologie (IPT)*, ebenfalls Aachen, im Auftrag der Firma *ifm electronic GmbH (ifm)*, Essen.

Es wurden dabei 65 Unternehmen aus den Branchen Automobilbau, Maschinen- und Anlagenbau sowie der Lebensmittelindustrie befragt. Bei den teilnehmenden Unternehmen handelte es sich überwiegend um mittlere Unternehmen mit einem Jahresumsatz bis 100 Mio. € sowie um große Unternehmen mit einem Jahresumsatz zwischen 500 Mio. € und 1 Mrd. €. Als Gesprächspartner dienten Geschäftsführer bzw. Bereichsleiter oder Produktions- bzw. Instandhaltungsleiter [vgl. Schuh u. a., 2005, S. 21].

- **Studie II: Nachhaltige Instandhaltung**

Die Studie „*Nachhaltige Instandhaltung – Trends, Potenziale und Handlungsfelder nachhaltiger Instandhaltung*“ wurde im Jahr 2006 von der VDMA-Gesellschaft für Forschung und Innovation mbH (VFI), Frankfurt am Main, und dem Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML), Dortmund, sowie dem Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebswirtschaftslehre (WZL), der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, mit Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin, durchgeführt und von der Projektträgerschaft Umweltforschung und -technik im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e.V., Berlin, getragen.

Befragt wurden fachverantwortliche Führungskräfte von 240 Unternehmen aus den Branchen Automobilbau, Maschinen- und Anlagenbau, Chemie- und Pharmaindustrie, Dienstleister und Gebäudemanagement, Metall- und Papiererzeugung bzw. -verarbeitung sowie der Konsumgüter- und Lebensmittelindustrie. Zusätzlich erfolgten 24 Experteninterviews zur Untermauerung der Fakten. Bei den befragten Unternehmen handelte es sich mit etwa 45 % um KMU, mit zirka 55 % um große Unternehmen [vgl. Kuhn u. a., 2006, S. 37].

- **Studie III: Maintenance Excellence**

Im Jahr 2006 wurde die Studie „*Maintenance Excellence – Verdeckte Reserven aufdecken und nachhaltig umsetzen*“ von der Firma Droege & Comp. GmbH, Düsseldorf, zusammen mit dem Marktforschungsinstitut Innofact AG, ebenfalls Düsseldorf, durchgeführt.

Die Studie basiert auf 139 Expertengesprächen mit Führungskräften aus überwiegend mittleren und großen Unternehmen der Branchen Maschinen- und Anlagenbau, Hightech³⁰, Chemie- und Pharmaindustrie, Energie- und Versorgungswirtschaft sowie der Transport- und Verkehrswirtschaft. Des Weiteren gingen dabei umfangreiche Erfahrungen aus vierzig Instandhaltungsprojekten der Firma Droege & Comp GmbH aus den zurückliegenden drei Jahren mit ein [vgl. Frings u. a., 2006, S. 2].

- **Studie IV: Instandhaltung bei KMU**

Die Studie „*Instandhaltung bei KMU – aktuelle Situation bei kleinen und mittleren Unternehmen*“ wurde im Jahr 2007 vom Institut für rechnerunterstützte Produktion der Technischen Universität Ilmenau (IRP) durchgeführt.

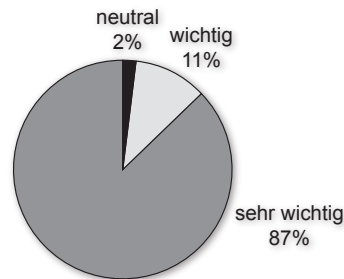
Bei den befragten 66 Unternehmen handelte es sich hauptsächlich um Kleinstunternehmen (9 %) und kleine Unternehmen (48 %) sowie mittlere Unternehmen (23 %) aus den Branchen Automotive³¹, Maschinen- und Anlagenbau, Elektrotechnik und Elektronik, Gerätebau, Optik und Feinwerktechnik sowie Logistik. Als Gesprächspartner dienten Geschäftsführer bzw. fachverantwortliche Führungskräfte, Bereichsleiter oder Produktions- bzw. Instandhaltungsleiter [vgl. Weißenbach, 2007b, S. 5-6].

Das turbulente Umfeld der Unternehmen bewirkt einen permanenten Veränderungsdruck und die ständig steigende Dynamik fordert mehr Flexibilität und Leistungsfähigkeit von den Unternehmen. Eine maximale Auslastung und eine hohe Zuverlässigkeit sowie ein optimaler Einsatz der technischen Einheiten sind deshalb im Leistungserstellungsprozess unumgänglich [vgl. Studie III, Frings u. a., 2006, S. 3]. Bei fehlerbedingten Ausfällen drohen aufgrund der zunehmenden Vernetzung der Unternehmen häufig rechtliche Konsequenzen mit weitreichenden wirtschaftlichen Folgen – zumindest aber muss das betroffene Unternehmen mit Imageverlust rechnen [vgl. Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 5-6]. Die Vermeidung von Störungen und Ausfällen ist für die Unternehmen daher besonders wichtig [vgl. Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 9-10].

³⁰ *Hightech* – von engl. high – dt. hoch; tech – dt. Technologie; hier: Hochtechnologie, etwa Elektrotechnik und Elektronik- bzw. Computertechnologie.

³¹ *Automotive* – Als Oberbegriff gilt Automotive für alle Fahrzeuge, die von Kraftmaschinen angetrieben werden; hier: Die Zulieferunternehmen der Automotivebranche beliefern die Automobil- und Bahnindustrie, den Schiffbau sowie die Luft- und Raumfahrtindustrie.

In Abbildung 2.27 ist die Wichtigkeit der Vermeidung von Störungen und Ausfällen dargestellt.



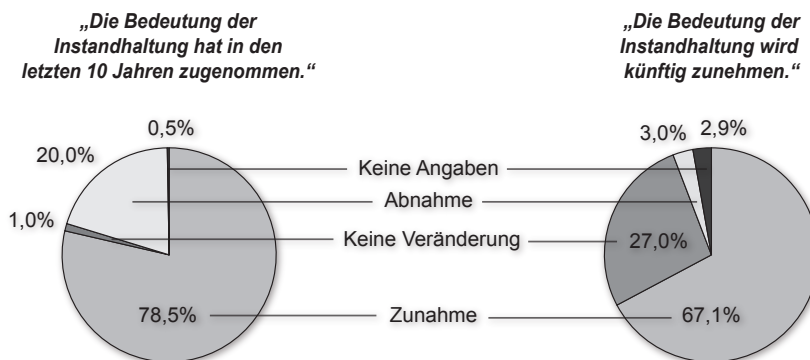
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 6]

Abbildung 2.27: Vermeidung von Störungen und Ausfällen

2.4.1 Bedeutung der Instandhaltung

Mit den *steigenden Anforderungen* an die Unternehmen wächst auch die Bedeutung der Instandhaltung. Insgesamt messen 98,6 % der befragten Unternehmen der Instandhaltung eine hohe Bedeutung bei, wobei gleichzeitig 78,5 % der Unternehmen eine deutliche *Bedeutungszunahme der Instandhaltung* erkennen. Zukünftig sehen 67,1 % der Unternehmen eine weitere Zunahme der Bedeutung [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 38], da die Instandhaltung nicht mehr nur als „Notwendigkeit“, sondern inzwischen als wichtiger Beitrag zur Wertschöpfung anerkannt wird [vgl. Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 6].

In Abbildung 2.28 ist sowohl die bisherige als auch die zukünftige Entwicklung der Bedeutung in Bezug auf die Instandhaltung dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 39]

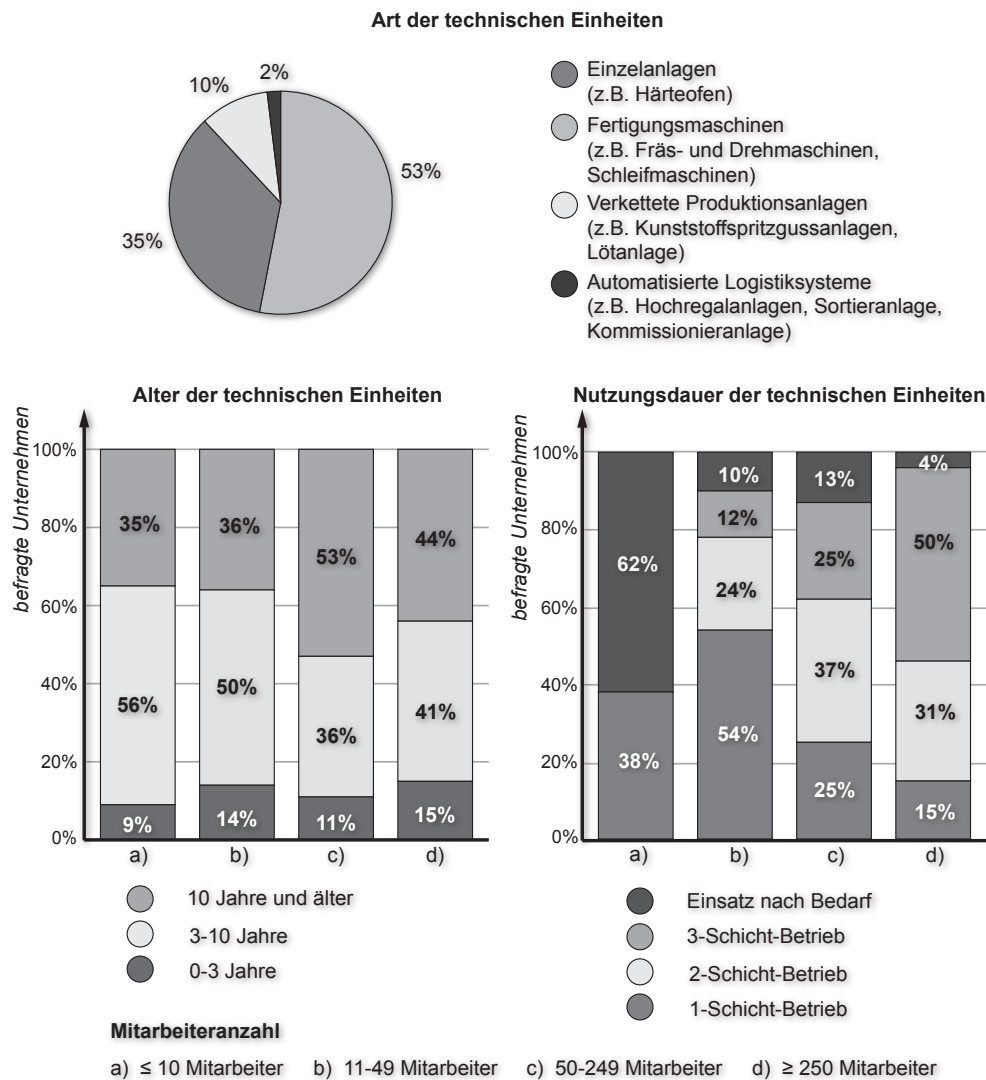
Abbildung 2.28: Bedeutung der Instandhaltung

Betrachtet man die eingesetzten technischen Einheiten nach Art, Alter und Nutzungsdauer, so ist verständlich, weshalb die Bedeutung der Instandhaltung zunimmt [vgl. Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 11]. Der überwiegende Teil der technischen Einheiten ist älter als drei bzw. zehn Jahre und befindet sich damit im Regelfall nicht mehr in der Gewährleistungspflicht³² der Hersteller.

Für mehr als zehn Jahre alte technische Einheiten besteht nicht einmal mehr eine garantierte Bereitstellung von Ersatzteilen durch die Hersteller [vgl. Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 11].

³² *Gewährleistungspflicht* - Hersteller von technischen Einheiten haben laut § 437 des Bürgerlichen Gesetzbuches (BGB) für eine bestimmte Zeit (in der Regel 18 Monate ab Inbetriebnahme oder nach vertraglich vereinbarter Dauer) dafür einzustehen, dass die gelieferten technischen Einheiten frei von Sach- und Rechtsmängeln sind.

In Abbildung 2.29 sind Struktur und Nutzung der technischen Einheiten dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 12]

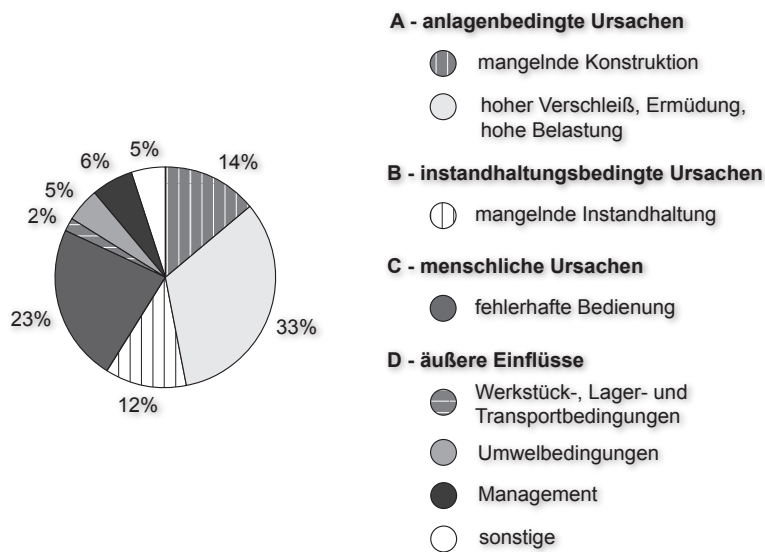
Abbildung 2.29: Art, Alter und Nutzungsdauer der technischen Einheiten

Weitere Gründe für den Bedeutungszuwachs der Instandhaltung liegen in den Ursachen von Störungen oder Ausfällen. Die Hauptursache lässt sich mit 33 % auf eine hohe Abnutzung (Verschleiß, Ermüdung, Belastung) der technischen Einheiten zurückführen. Als weitere Ursachen sind Bedienungsfehler mit 23 %, mangelhafte Konstruktion mit 14 % und unzureichende Instandhaltung mit 12 % zu nennen [vgl. Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 12].

Außerdem lässt sich die gestiegene Bedeutung der Instandhaltung dadurch erklären, dass in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße der Automatisierungsgrad und die Komplexität³³ der technischen Einheiten zunehmen [vgl. Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 5]. So werden in mittleren und großen Unternehmen deutlich mehr halb- und vollautomatisierte technische Einheiten eingesetzt als in Kleinstunternehmen und kleinen Unternehmen, wo vermehrt manuelle und weniger automatisierte technische Einheiten vorzufinden sind. Die mittleren und großen Unternehmen müssen ihren technischen Einheiten wesentlich intensivere Betreuung durch die Instandhaltung zukommen lassen [vgl. Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 13].

³³ *Komplexität* – Als Komplexität wird das Zusammenwirken vieler Komponenten und (Teil-) Systeme bei entsprechenden Wechselwirkungen (Beziehungsgeflecht) mit einer technischen Einheit verstanden.

In Abbildung 2.30 sind die Gründe für Störungen oder Ausfälle der technischen Einheiten dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 12]

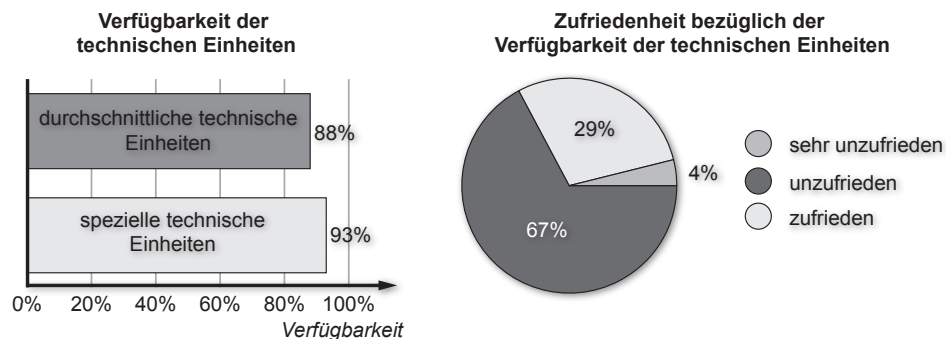
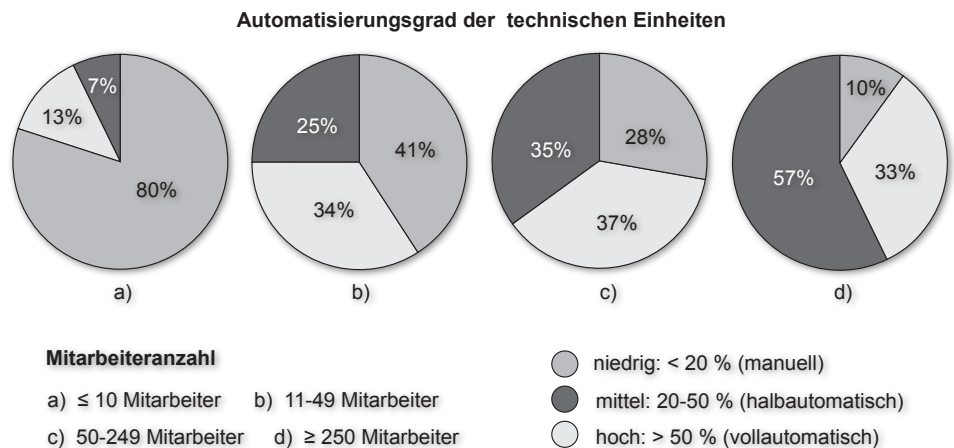
Abbildung 2.30: Gründe für Störungen oder Ausfälle von technischen Einheiten

In Verbindung mit der tatsächlichen Nutzungsdauer reicht infolge dieser Kenntnisse die vorhandene Verfügbarkeit der technischen Einheiten oft nicht aus. Obwohl die technischen Einheiten eine durchschnittliche Verfügbarkeit von 88 %, spezielle technische Einheiten sogar von 93 % aufweisen [vgl. Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 11], sind damit nur 29 % der befragten Unternehmen zufrieden. Hingegen sind 67 % der Unternehmen damit unzufrieden und 4 % der befragten Unternehmen sind mit der Verfügbarkeit der technischen Einheiten überhaupt nicht zufrieden [vgl. Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 13].

In Abbildung 2.31 sind der Automatisierungsgrad und die Verfügbarkeit der technischen Einheiten dargestellt.

Die Bedeutungszunahme der Instandhaltung lässt sich durch vielfältige Einflussfaktoren erklären, die sowohl ökonomischer, ökologischer, sozialer wie auch technischer Natur sein können. Häufig resultieren die Einflussfaktoren aus einer immer wieder verlängerten Nutzungsdauer der technischen Einheiten [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 38], auch wenn dadurch die Möglichkeiten zum „Nachzuholen“ von Ausfallzeiten reduziert werden und gegebenenfalls die Einhaltung vereinbarter Lieferzeiten verhindert wird. Weiterhin resultieren die Einflussfaktoren aus einem Rückgang an Investitionen für neue technische Einheiten. Hohe Sicherheitsanforderungen nennen 98,6 % der befragten Unternehmen, den Umweltschutz führen 99,5 % der Unternehmen an, die Kosten geben 98,7 % an und in der Globalisierung³⁴ aufgrund von zunehmender Konkurrenz und höherem Kostendruck sehen 66,4 % der befragten Unternehmen einen Grund für den Bedeutungszuwachs der Instandhaltung [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 39].

³⁴ *Globalisierung* – Als Globalisierung wird die zunehmende Entstehung weltweiter Märkte für Waren, Kapital und Dienstleistungen sowie die damit verbundene internationale Verflechtung der Volkswirtschaften bezeichnet. [vgl. Gräber-Seißinger, 2008, S. 254-257].



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 11] und [Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 13]

Abbildung 2.31: Automatisierungsgrad und Verfügbarkeit der technischen Einheiten

2.4.2 Strategien und Konzepte

Für die Instandhaltung von technischen Einheiten gibt es keine allgemein gültige Vorgehensweise. Die einfache Übertragung von Strategien und Konzepten für die Instandhaltung von einem Unternehmen auf ein anderes ist nicht möglich. Es bedarf vielmehr einer individuell an die unternehmensspezifischen Gegebenheiten angepasste und auf die instand zu haltenden technischen Einheiten abgestimmte Konzeption [vgl. Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 18].

Von den befragten Unternehmen verfolgen nur 38 % *bewusst* eine Instandhaltungsstrategie und lediglich 18 % der Unternehmen verfügen über eine *ausformulierte* und auf die technischen Einheiten *abgestimmte Instandhaltungskonzeption*. Eigenen Aussagen nach verfolgen 44 % der befragten Unternehmen keine Strategie bei der Instandhaltung [vgl. Studie III, Frings u. a., 2006, S. 5]. Tatsächlich folgen sie – wenn auch *unbewusst* – einer Instandhaltungsstrategie, indem sie zweifelsohne auf Störungen oder Ausfälle reagieren.

Die Unternehmen, die bewusst die *klassischen Instandhaltungsstrategien* einsetzen, nutzen zu 83 % die *zeit- und leistungsabhängige Instandhaltungsstrategie* und zu 65 % jeweils die *ausfallabhängige* und/oder *zustandsabhängige Instandhaltungsstrategie* [vgl. Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 12]. Diejenigen Unternehmen, die *moderne Instandhaltungskonzepte* nutzen, setzen zu 27 % auf die *ganzheitlich integrierte Instandhaltung* und zu 16 % auf die *zuverlässigkeitsabhängige Instandhaltung*. Eigene, nicht näher erläuterte *Konzeptionen* werden von 44 % der befragten Unternehmen eingesetzt.

In Abbildung 2.32 ist die allgemeine Nutzung von Instandhaltungsstrategien und -konzeptionen dargestellt.

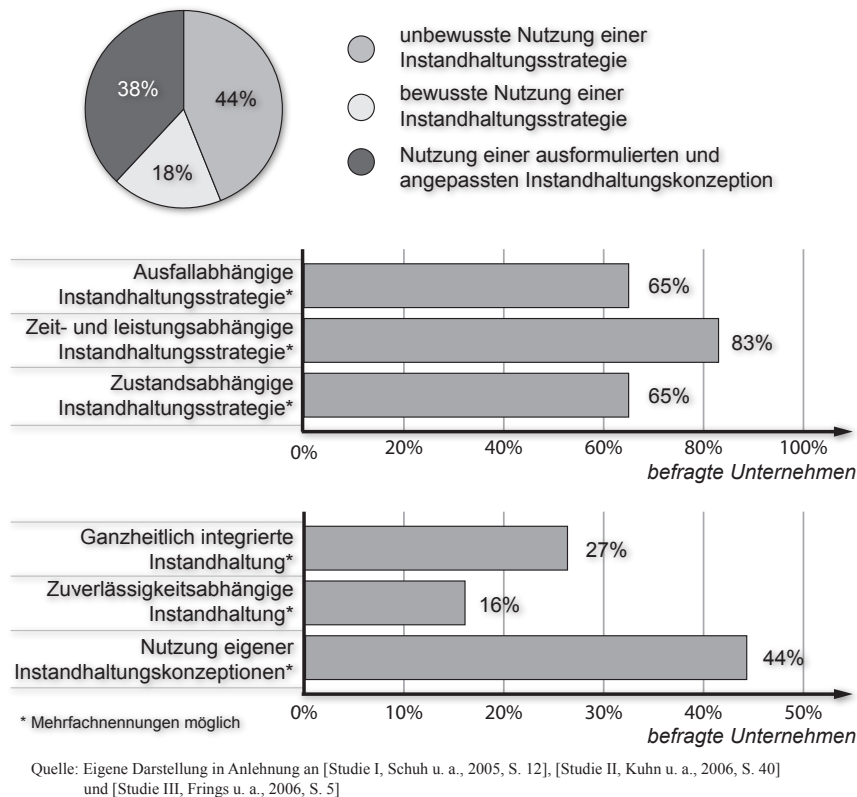


Abbildung 2.32: Allgemeine Nutzung von Instandhaltungsstrategien und -konzeptionen

Die Strategien und Konzepte der Instandhaltung werden oft in Kombination angewendet [vgl. Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 10]. Einen hohen Einfluss auf die Wahl einer geeigneten Vorgehensweise haben dabei der Automatisierungsgrad und auch die Komplexität der instand zu haltenden technischen Einheiten. Dies gilt besonders, wenn technische Einheiten im Leistungserstellungsprozess eine zentrale Rolle spielen (Schlüsselanlagen) [vgl. Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 15]. Die selbst entwickelten Konzeptionen der Unternehmen stützen sich meist auf branchenspezifische Erfahrungen und die Verknüpfung passender Elemente der bekannten Strategien der Instandhaltung [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 40].

Bei technischen Einheiten mit hohem Automatisierungsgrad und hoher Komplexität hat die ausfallabhängige Instandhaltungsstrategie eine *untergeordnete* Bedeutung. Tendenziell kommen hierbei speziell ausformulierte und auf die instand zu haltenden technischen Einheiten abgestimmte Instandhaltungskonzeptionen zum Einsatz. Jedoch finden mit zunehmender Automatisierung und Komplexität auch die zeit- und leistungsabhängige Instandhaltungsstrategie und/oder die zustandsabhängige Instandhaltungsstrategie ihre Anwendung [vgl. Studie III, Frings u. a., 2006, S. 5].

In Abbildung 2.33 sind die Nutzung von Instandhaltungsstrategien in Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad und der Komplexität der technischen Einheiten dargestellt.

In Bezug auf KMU ist erkennbar, dass die ausfallabhängige Instandhaltungsstrategie *dominiert* und dass moderne Instandhaltungskonzepte bei KMU eine eher *geringe* Bedeutung haben bzw. derzeit so gut wie *keine* Rolle spielen [vgl. Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 10], [vgl. Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 15-16].

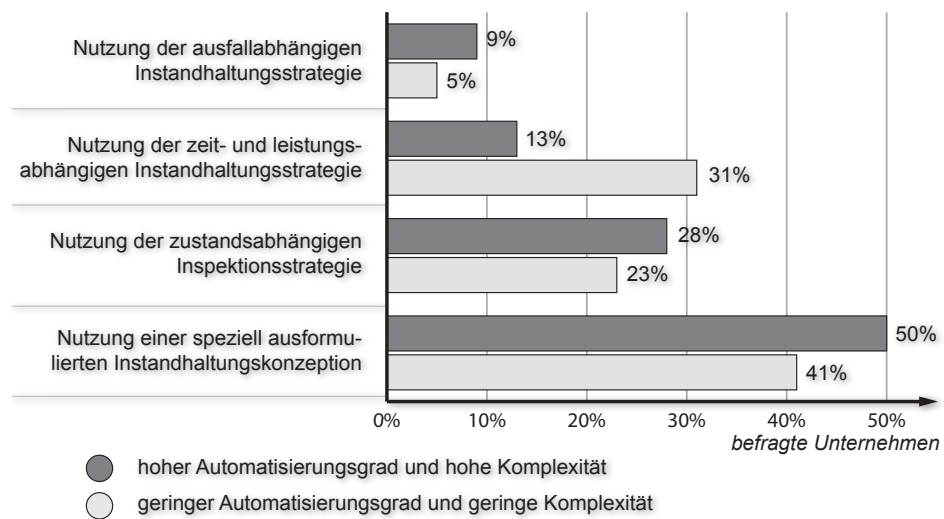


Abbildung 2.33: Angepasste Nutzung von Instandhaltungsstrategien und -konzeptionen

In Abbildung 2.34 ist die Nutzung von Instandhaltungsstrategien und -konzeptionen insbesondere bei KMU dargestellt.

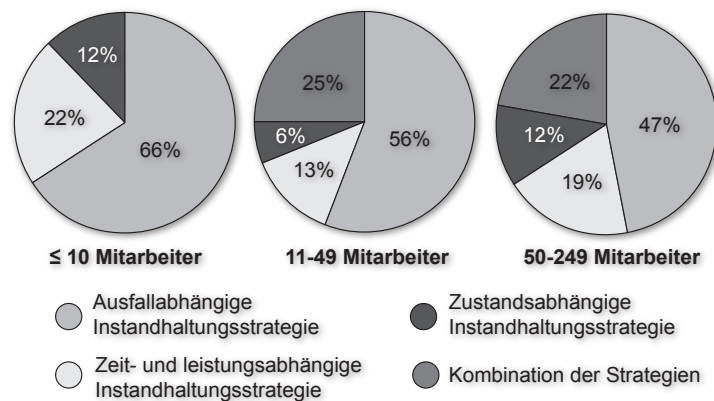


Abbildung 2.34: Nutzung von Instandhaltungsstrategien und -konzeptionen bei KMU

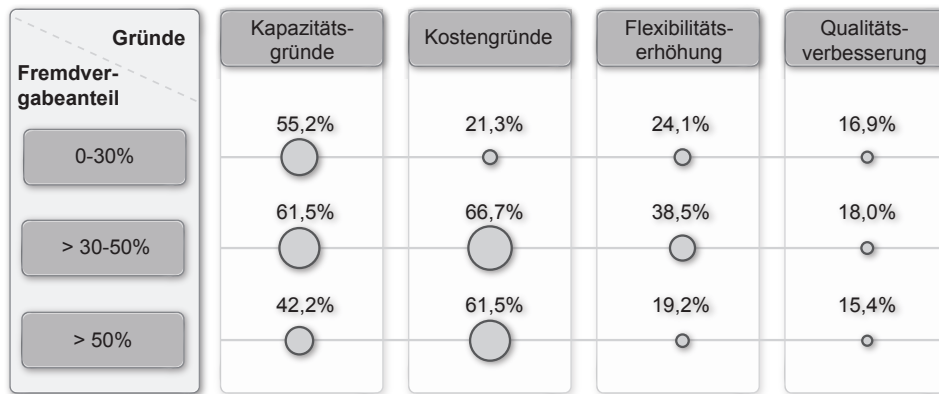
2.4.3 Personelle Aufgabenverteilung

Die personelle Aufgabenverteilung besteht überwiegend aus der Verteilung der verschiedenen Instandhaltungsaufgaben „auf mehrere Schultern“. Durch die Integration von Instandhaltungstätigkeiten werden den Produktionsmitarbeitern und Bedienern der technischen Einheiten einzelne Instandhaltungsaufgaben übertragen. Gleichzeitig wird eine enge Zusammenarbeit mit Drittunternehmen für Instandhaltungsleistungen angestrebt [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 38]. Im Vordergrund stehen dabei Kapazitäts- und Kostengründe, denn wenn insbesondere bei Unternehmen mit einem hohen Fremdvergabeanteil³⁵ das unternehmensfremde Instandhaltungspersonal gut ausgelastet und permanent vor Ort ist, können beispielsweise durch den Einsatz von Instandhaltungsdienstleistern

³⁵ *Fremdvergabeanteil* – Der Fremdvergabeanteil beschreibt das Verhältnis zwischen der Anzahl der ausgelagerten Instandhaltungsprozesse an Drittunternehmen und der Gesamtzahl aller zu erbringenden Instandhaltungstätigkeiten zur Sicherstellung der Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten eines Unternehmens [nach Studie III, Frings u. a., 2006, S. 6].

mit niedrigeren Tariflöhnen signifikante Kosteneinsparungen erzielt werden. Allerdings werden damit auch höhere Flexibilität und Qualitätsverbesserungen angestrebt [vgl. Studie III, Frings u. a., 2006, S. 6].

In Abbildung 2.35 sind die Gründe zur Vergabe von Instandhaltungsleistungen in Relation zum Fremdvergabeanteil dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Studie III, Frings, 2006, S. 6]

Abbildung 2.35: Gründe für die Fremdvergabe von Instandhaltungsaufgaben

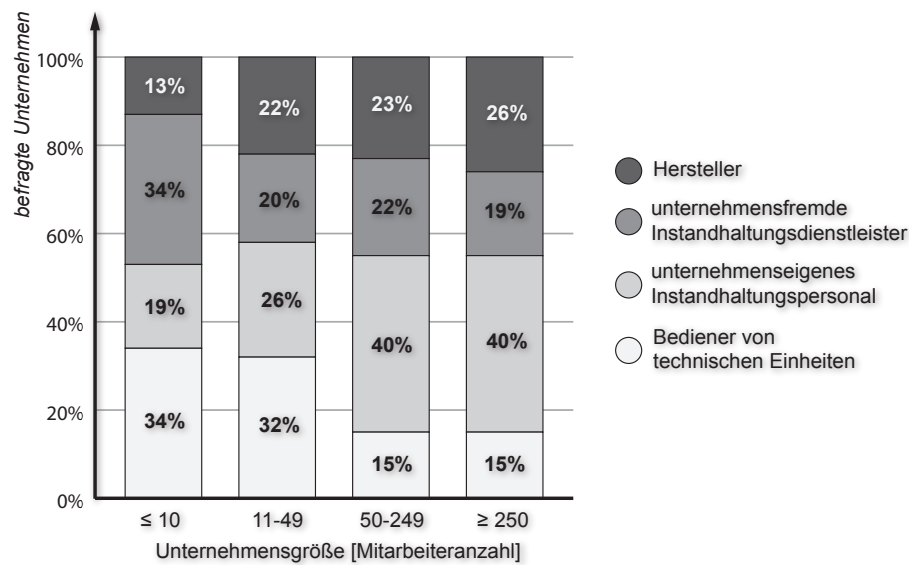
In Abhängigkeit von der **Unternehmensgröße** werden bei *Kleinstunternehmen* und *kleinen Unternehmen* im Durchschnitt etwa 27 % der Instandhaltungstätigkeiten von Instandhaltungsdienstleistern übernommen. Die Hersteller der technischen Einheiten erbringen durchschnittlich zirka 18 % der Instandhaltungsleistungen. Demzufolge wird knapp die Hälfte der Instandhaltungstätigkeiten von unternehmensfremdem Instandhaltungspersonal durchgeführt [vgl. Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 16].

Bei *mittleren* und *großen Unternehmen* werden etwa 20 % der Instandhaltungstätigkeiten an Instandhaltungsdienstleister vergeben und zirka 25 % von den Herstellern der technischen Einheiten übernommen. Dadurch werden auch hier knapp die Hälfte der Instandhaltungsleistungen von unternehmensfremdem Instandhaltungspersonal erbracht [vgl. Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 16].

Die restlichen Instandhaltungstätigkeiten werden von unternehmenseigenen Mitarbeitern durchgeführt. Bei *Kleinstunternehmen* und *kleinen Unternehmen* übernehmen die Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten im Durchschnitt etwa 33 %, bei *mittleren* und *großen Unternehmen* in etwa 15 % der Instandhaltungsaufgaben. Unternehmenseigenes Instandhaltungspersonal – wenn vorhanden – erbringt bei *Kleinstunternehmen* und *kleinen Unternehmen* im Durchschnitt etwa 23 %, bei *mittleren* und *großen Unternehmen* durchschnittlich in etwa 40 % der Instandhaltungstätigkeiten.

In Abbildung 2.36 ist die personelle Aufgabenverteilung der Instandhaltung insbesondere bei KMU dargestellt.

Im Hinblick auf die **Instandhaltungsrate** werden für technische Einheiten mit *geringem Instandhaltungsbedarf* von etwa einem Drittel der befragten Unternehmen knapp 62 % der Instandhaltungstätigkeiten an Drittunternehmen vergeben. Mehr als die Hälfte der Unternehmen vergeben nahezu 29 % der Instandhaltungsaufgaben fremd [nach Studie III, Frings u. a., 2006, S. 6].

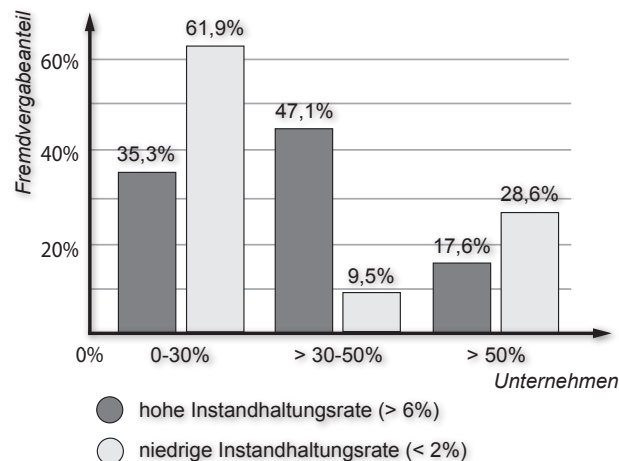


Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 16]

Abbildung 2.36: Personelle Aufteilung zwischen Eigen- und Fremdinstandhaltung

Bei technischen Einheiten mit *hohem Instandhaltungsbedarf* werden von etwa einem Drittel der befragten Unternehmen zirka 35 % der Instandhaltungsaufgaben fremd vergeben. Bis zu 50 % der Unternehmen vergeben etwa 47 % der Instandhaltungsaufgaben an Drittunternehmen und mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen beziehen knapp 18 % der Instandhaltungsleistungen fremd [nach Studie III, Frings u. a., 2006, S. 6].

In Abbildung 2.37 sind die jeweiligen Anteile der fremd vergebenen Instandhaltungsleistungen dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Studie III, Frings, 2006, S. 6]

Abbildung 2.37: Anteil der Instandhaltungsleistungen von Drittunternehmen

In Bezug auf die **Unternehmensgröße** wie auch die **Instandhaltungsrate** ist erkennbar, dass in etwa *die Hälfte* der Instandhaltungsaufgaben durch Drittunternehmen erbracht werden. Einen Trend hin zu mehr Outsourcing von Instandhaltungsleistungen sehen dabei zirka 27 % der befragten Unternehmen. Rund 19 % der Unternehmen sehen hingegen im Insourcing³⁶ von Instandhaltungsleistungen

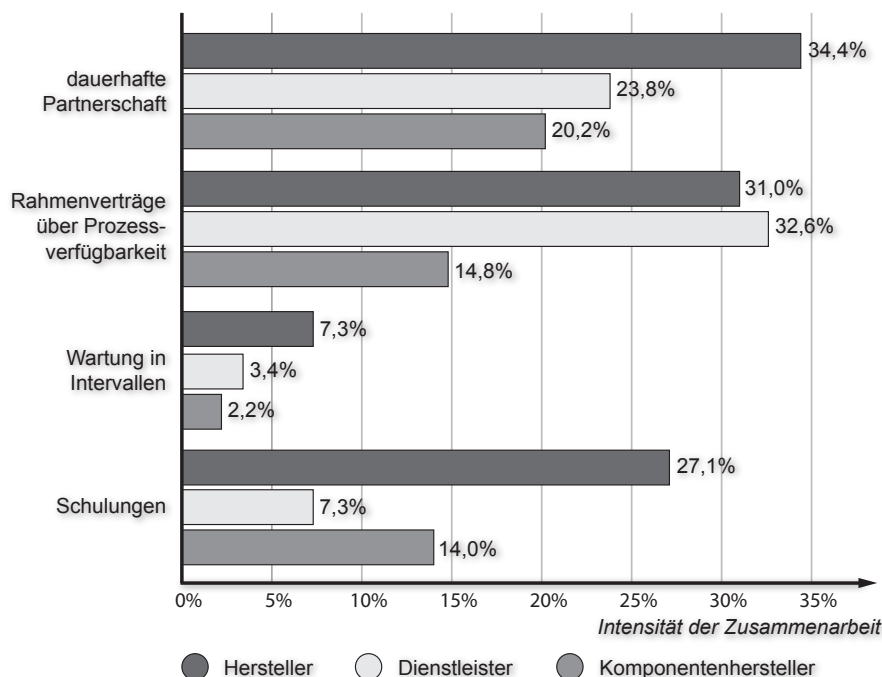
³⁶ *Insourcing* – von Inside Resource Using – engl. in – dt. in, innen, hinein; engl. source – dt. Quelle, Bezugsquelle, Herkunft; hier: Die Wiedereingliederung von zuvor ausgelagerten Unternehmensprozessen und -funktionen zurück in das Unternehmen, um die Abhängigkeit von Drittunternehmen zu reduzieren.

einen Trend, der mit schlechten Erfahrungen bei der Zusammenarbeit mit Dienstleistern begründet wird [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 40-41]. Für zirka 48 % der befragten Unternehmen ist weder ein zunehmendes Outsourcing noch ein vermehrtes Insourcing von Instandhaltungsleistungen erkennbar [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 40-41].

Bei der Zusammenarbeit mit Drittunternehmen werden oft ganze Leistungspakete vereinbart, wenn zum Beispiel kein eigenes Instandhaltungsvermögen vorhanden ist oder keine Redundanz der instand zu haltenden technischen Einheit zur Verfügung steht. Die entsprechenden Leistungen werden dann mit Dienstgütevereinbarungen (engl. Service Level Agreements - SLA)³⁷ abgesichert [vgl. Studie III, Frings u. a., 2006, S. 10], [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 42].

Etwa 48 % der großen Unternehmen vereinbaren allerdings nur mündliche Service Level Agreements mit den Herstellern und Instandhaltungsdienstleistern, wohingegen zirka 52 % der großen Unternehmen tatsächlich auch schriftliche Vereinbarungen treffen. Bei den mittleren Unternehmen treffen in etwa 67 % mündliche Service Level Agreements mit den Herstellern sowie Instandhaltungsdienstleistern und nur zirka 33 % der Unternehmen vereinbaren tatsächlich schriftliche Arrangements. Für die Gruppe der Kleinstunternehmen und kleinen Unternehmen haben Service Level Agreements bisher nur eine eher geringe bis gar keine Bedeutung [vgl. Studie III, Frings u. a., 2006, S. 10].

In Abbildung 2.38 sind die Bereiche und die Intensität der Zusammenarbeit mit Drittunternehmen dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 42]

Abbildung 2.38: Bereiche und Intensität der Zusammenarbeit

³⁷ Service Level Agreement (SLA) – von engl. service – dt. Dienst, Dienstleistung; level – dt. Ebene, Stufe, Grad, Niveau, Güte; agreement – dt. Vereinbarung, Abkommen; hier: Ein Service Level Agreement bezeichnet eine Vereinbarung für wiederkehrende Dienstleistungen, um zugesicherte Leistungseigenschaften wie etwa Leistungsumfang, Reaktionszeit und Schnelligkeit der Bearbeitung oder Prozessverfügbarkeit genau zu beschreiben. Wichtiger Bestandteil ist hierbei die Dienstgüte (Service Level), welche die vereinbarte Leistungsqualität beschreibt. Charakteristisch für ein Service Level Agreement ist, dass ein Dienstleister jeden relevanten Dienstleistungsparameter in verschiedenen Gütestufen (Levels) anbietet, aus welchen der Auftraggeber nach technischen und betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten auswählen kann.

2.4.4 Software- und Technologieeinsatz

Im Rahmen der Ablauforganisation werden verschiedene Computerprogramme eingesetzt. Es handelt sich dabei um Anwendungsprogramme zur Unterstützung der Instandhaltungsplanung und -steuerung (IPS), die sich nach vier Lösungsansätzen unterscheiden lassen [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 35-36]:

- IPS-Systeme (Standardlösungen)
- IPS-Module (eingebettet in ERP-/PPS-Systeme)
- Softwareeigenentwicklungen
- Büroanwendungsprogramme

IPS-Systeme³⁸ werden hauptsächlich von mittleren und großen Unternehmen genutzt, wovon etwa 50 % der befragten Unternehmen ein System zur Instandhaltungsplanung und -steuerung einsetzen. In der Konsumgüter- und Investitionsgüterindustrie ist die Durchdringung mit Computerprogrammen am geringsten. Bei Instandhaltungsdienstleistern der Chemie- und Automobilindustrie herrschen überwiegend in ERP³⁹- und PPS⁴⁰-Systeme integrierte Instandhaltungssysteme vor. In den restlichen Branchen werden oft eigene Lösungen bevorzugt. Neben eigenständigen und integrierten IPS-Systemen kommen auch selbst programmierte oder in Verbindung mit Büroanwendungsprogrammen⁴¹ entstandene Eigenentwicklungen zum Einsatz [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 46-48]. Insgesamt werden zirka 30 Anwendungsprogramme eingesetzt, obwohl es auf dem Markt etwa 150 verschiedene Instandhaltungssysteme gibt [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 47]. Allerdings haben die Anwendungsprogramme oft Schwächen, die auf das fehlende Interesse an Verbesserungsvorschlägen seitens der Hersteller bzw. auf die mangelhafte Informationsweitergabe der Betreiber von technischen Einheiten zurückzuführen sind. Hinzu kommt, dass zirka 70 % der zur Verfügung stehenden Funktionen der Anwendungsprogramme nicht genutzt werden und dass eine Verknüpfung von verschiedenen Anwendungsprogrammen aufgrund fehlender Standards nicht immer möglich ist [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 35-36].

In Anbetracht dieser Gegebenheiten werden nur von einem Viertel der befragten Unternehmen die durch die Instandhaltungssysteme gewonnenen Instandhaltungsinformationen und -daten als verwendbar betrachtet und folglich so aufbereitet, dass sie für weitere Instandhaltungsaktivitäten genutzt werden können [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 48]. Dennoch erweist sich der Einsatz eines Instandhaltungssystems für die zustandsabhängige Instandhaltungsstrategie als vorteilhaft. Zumindest ist dadurch eine schnelle Aufarbeitung und Auswertung von Instandhaltungsinformationen und -daten möglich. Ungeachtet dessen kommen zirka 40 % der Instandhaltungssysteme bei Arbeits- und Umweltschutzaufgaben und der zugehörigen Nachweispflicht zum Tragen [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 47].

Neben dem Einsatz von Anwendungsprogrammen spielt auch die Sensor- und Gerätetechnik bei der Instandhaltung eine wichtige Rolle. Mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen setzen Sensorik zur Zustandsermittlung bzw. -überwachung und Diagnose ein. In sicherheitsrelevanten Bereichen,

³⁸ *IPS-Systeme* – Als IPS-Systeme werden ausschließlich Anwendungsprogramme zur Instandhaltungsplanung und zur Steuerung sämtlicher Instandhaltungsaktivitäten in einem Unternehmen verstanden.

³⁹ *Enterprise Resource Planning (ERP)* – von engl. enterprise – dt. Unternehmen, Firma; resource – dt. Rohstoffe, Betriebsmittel, Einsatzmittel; planning – dt. Planung, Ausarbeitung, Organisation; hier: Als Enterprise Resource Planning wird die Planung des Einsatzes bzw. der Verwendung von Unternehmensressourcen bezeichnet. Ziel ist es, die unternehmerischen Aufgaben mit den vorhandenen Ressourcen (Kapital, Betriebsmittel oder Personal) möglichst effizient zu bewältigen und die Steuerung von Geschäftsprozessen zu optimieren. Als ERP-System wird dabei ein komplexes Anwendungsprogramm oder ein System aus Anwendungsprogrammen zur Unterstützung der Ressourcenplanung eines gesamten Unternehmens bezeichnet.

⁴⁰ *Produktionsplanung und -steuerung (PPS)* – Als Produktionsplanung und -steuerung werden die operative, zeitliche, mengenmäßige und, wenn nötig, auch räumliche Planung, Steuerung und Kontrolle aller Vorgänge bezeichnet, die bei der Produktion von Waren und Gütern notwendig sind. Ein PPS-System ist dabei ein Anwendungsprogramm zur Realisierung kurzer Durchlaufzeiten, Termintreue, optimaler Bestandshöhen, sowie für die wirtschaftliche Nutzung der Betriebsmittel. Meist ist ein PPS-System ein integraler Bestandteil eines ERP-Systems.

⁴¹ *Büroanwendungsprogramme* – Hierunter werden hauptsächlich Anwendungsprogramme wie Outlook, Word, Excel, Access und Visio der Firma Microsoft Corporation, Redmond, USA, verstanden.

wie auch in Bereichen, in denen Störungen und Ausfällen sehr hohe Ausfall- und Ausfallfolgekosten haben können, wird Sensorik eingesetzt. Eine Begrenzung des Einsatzfeldes ist in den relativ hohen Kosten sowie der oftmals aufwendigen Installation der Sensor- und Gerätetechnik begründet. Zudem wird die Zuverlässigkeit der Sensorik sehr unterschiedlich beurteilt. Die befragten Unternehmen kritisieren, dass die Sensorik zur Ermittlung von Instandhaltungsinformationen und -daten beispielsweise bei der Wälzlagerüberwachung nicht immer zwischen den aus dem Motorlauf resultierenden Schwankungen und einem tatsächlichen Lagerschaden unterscheiden kann. Es besteht daher der Wunsch nach zuverlässigeren Sensoren für die Zustandsermittlung und -überwachung, während die Auswertetechnik zur Diagnose als sehr zuverlässig bezeichnet wird [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 43].

Im Allgemeinen werden verschiedene Technologien zum Einsatz gebracht, die je nach Bedarf beansprucht werden, vor allem aber in Verbindung mit der zustandsabhängigen Instandhaltungsstrategie stehen [vgl. Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 12]. Für die unmittelbare Zustandsermittlung und -überwachung bzw. zur Ermittlung von Instandhaltungsinformationen und -daten werden die *Stromaufnahmemessung*, *Ölqualitätsüberwachung*⁴², *Druckluftverbrauchsmessung*⁴³, *Thermographie* sowie *Schwingungsanalyse* eingesetzt [vgl. Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 12], [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 43].

Der wesentliche Vorteil des Technologieeinsatzes zur zustandsabhängigen Instandhaltung liegt nach Aussage der befragten Unternehmen in der Vermeidung von Störungen und Ausfällen und somit in der Reduzierung von indirekten Instandhaltungskosten. Weitere Vorteile liegen insbesondere vor dem Hintergrund von kurzen Durchlaufzeiten und einer hohen Liefertreue in der besseren Planbarkeit notwendiger Stillstände sowie in der Erhöhung der Betriebssicherheit infolge einer genaueren Kenntnis des Abnutzungszustands der technischen Einheiten. Vorteilhaft ist durch den Technologieeinsatz auch die Verringerung der direkten Instandhaltungskosten, da weniger Instandhaltungsleistungen von Drittunternehmen notwendig werden und sich ein geringerer Verbrauch an Ersatzteilen einstellt [vgl. Studie I, Schuh u. a., 2005, S. 15].

Für eine schnelle und effektive Ermittlung und Speicherung von Instandhaltungsinformationen und -daten werden den *RFID-Technologien*⁴⁴ große Potenziale zugeschrieben. Die direkte Ermittlung und Speicherung von Instandhaltungsinformationen und -daten am Ort des Instandhaltungsobjektes, ermöglicht eine effizientere und mobilere Gestaltung der Instandhaltung. Eine schnellere Verfügbarkeit von Instandhaltungsinformationen und -daten birgt nach Aussagen der befragten Unternehmen neue Chancen für die Instandhaltung, da die RFID-Technologien neue Möglichkeiten für die Nachweisfähigkeit und Rückverfolgbarkeit von Instandhaltungsprozessen eröffnen [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 34]. Andererseits sind die RFID-Technologien noch nicht lange im Einsatz, sodass erst wenige Erfahrungen mit RFID-Systemen in der Instandhaltung vorliegen und deren Einführung mit hohen Kosten und einer Anpassung der entsprechenden Prozesse verbunden ist [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 34].

Neben den unmittelbaren Methoden zur Zustandsermittlung und -überwachung bzw. zur Ermittlung von Instandhaltungsinformationen und -daten kommen auch mittelbare Anwendungen zum Einsatz.

⁴² *Ölqualitätsüberwachung* – Mit der Ölqualitätsüberwachung werden wesentliche Parameter der Viskosität, Alterung und des Wassergehalts von Öl ermittelt sowie Verunreinigungen durch mechanischen Abrieb bestimmt.

⁴³ *Druckluftverbrauchsmessung* – Die Druckluftverbrauchsmessung dient zur Messung des Druckluftverbrauchs, Ermittlung von Leckagemengen, Erfassung von Druckluftkosten für einzelne Kostenstellen oder Verbraucher sowie zur Kontrolle des Leistungsgrades von Druckluftherzeugern.

⁴⁴ *RFID-Technologie* – von engl. radio – dt. Funk; frequency – dt. Schwingungen, Frequenz; identification – dt. Bestimmung, Erkennung, Identifikation; hier: Funkerkennung; Die RFID-Technologien ermöglichen mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen eine berührungslose Übertragung von Daten und Informationen beispielsweise zur Identifikation von Gegenständen oder Lebewesen. Die RFID-Systeminfrastruktur umfasst dabei mindestens einen Transponder sowie ein Sende-Empfangs-Gerät. Der Transponder selbst, ein sehr kleiner Computerchip mit Antenne, wird in ein Trägerobjekt (Klebeetikett, Plastikkarte, usw.) integriert und enthält in der Regel einen Nummerncode, der auf Informationen verweist, die wiederum in einer Datenbank hinterlegt sein können. So ist es möglich, dass jeder mit einem RFID-Transponder versehene Gegenstand eine unverwechselbare Identität erhält, was beispielsweise im Falle von sicherheitsrelevanten Ersatzteilen sehr wichtig sein kann [vgl. Berge, 2006, S. 4].

*Teleservice*⁴⁵ ist dabei in den einzelnen Branchen unterschiedlich stark verbreitet [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 48]. Etwa 45-50 % der befragten Unternehmen setzen Teleservice ein, wobei die Automobilindustrie, der Maschinen- und Anlagenbau, die Chemie- und Pharmaindustrie sowie Metall- und Papiererzeugung bzw. -verarbeitung sehr starke Nutzer, die Konsumgüter- und Lebensmittelindustrie eher schwache Nutzer von Teleserviceanwendungen sind [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 48]. Dennoch ist eine zunehmende Verbreitung von Teleservice in allen Branchen zu erwarten.

Eine besondere Bedeutung haben Teleserviceanwendungen in Verbindung mit *Augmented Reality (AR)*⁴⁶. Laut den befragten Unternehmen wird langfristig ein zunehmender Einsatz dieser Methode prognostiziert, sodass sich ein Bedeutungszuwachs einstellen wird, obwohl noch ein erhebliches Umsetzungsdefizit bei den Betreibern der technischen Einheiten und den entsprechenden Anbietern besteht [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 48-49].

In Abbildung 2.39 ist der Einsatz von Teleserviceanwendungen nach Branchen dargestellt.

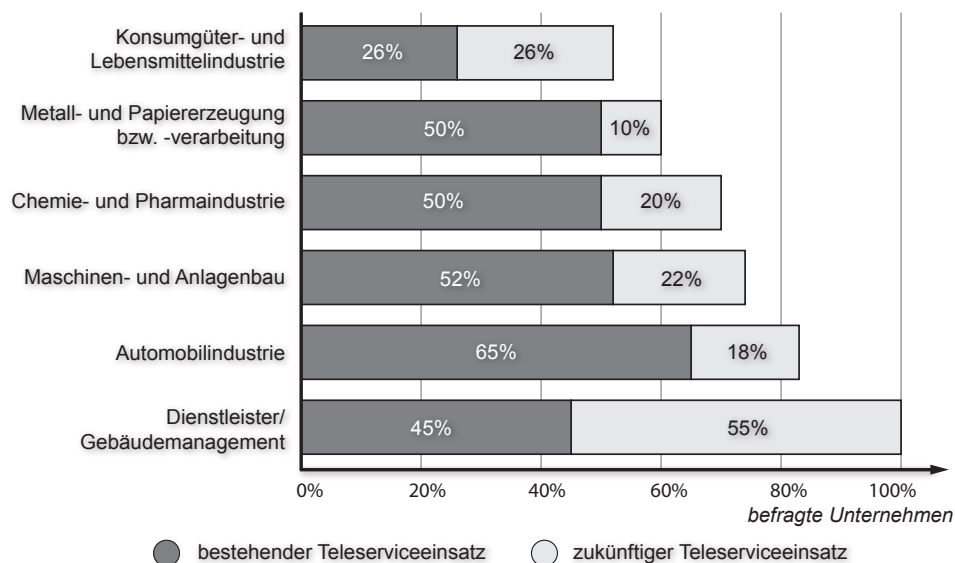


Abbildung 2.39: Verbreitung von Teleserviceanwendungen

2.4.5 Finanzielle Aufwendungen

Die finanziellen Aufwendungen zur Instandhaltung von technischen Einheiten mindern im vollen Umfang den Ertrag der Unternehmen. Gleichzeitig sichern sie auch den Erfolg der Unternehmen und die Höhe der finanziellen Aufwendungen verdeutlicht den betriebswirtschaftlichen Stellenwert der Instandhaltung in den Unternehmen [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 18].

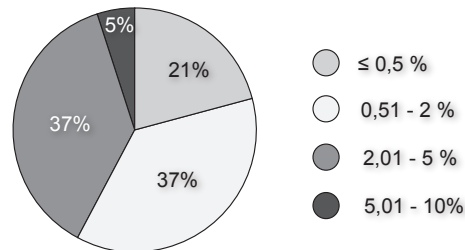
Bezogen auf die Gesamtkosten der befragten Unternehmen betragen bei 21 % die jährlichen Instandhaltungsaufwendungen weniger als 0,5 %. Bei 37 % der befragten Unternehmen bewegen sich die

⁴⁵ *Teleservice* – von griech. tele – dt. fern, weit; engl. service – dt. Dienst, Dienstleistung; hier: Als Teleservice wird der Datenaustausch mit entfernt stehenden technischen Einheiten (beispielsweise Produktionsmaschinen und -anlagen, innerbetriebliche Materialflusstechnik oder Computer und ähnliches) zum Zweck der Fehlererkennung, Diagnose, Wartung und Inspektion, Datenanalyse oder Optimierung verstanden. Die Verbindung zwischen dem Anwender von Teleservice und den technischen Einheiten erfolgt dabei durch moderne Kommunikationsmedien wie analoge bzw. digitale Telefonnetze, Mobilfunknetze oder per Internet.

⁴⁶ *Augmented Reality* – von engl. augmented – dt. erweiterte, vermehrte; reality – dt. Realität, Wirklichkeit; hier: Als Augmented Reality wird eine Form der Mensch-Maschine-Interaktion bezeichnet, bei der virtuelle Objekte in reale, durch eine Videokamera bereitgestellte Szenen in Echtzeit so eingefügt werden, dass sie räumlich korrekt positioniert sind und das reale Bild ergänzen. Die digitalen Informationen verschmelzen dabei mit der Umwelt des Benutzers, sodass der Nutzer die aktuell wichtigen Informationen direkt an dem Ort erhält, an dem er sie benötigt.

jährlichen Instandhaltungsaufwendungen zwischen 0,51 und 2 %, und weitere 37 % der Unternehmen wenden zwischen 2,01 und 5 % der gesamten Unternehmenskosten für die Instandhaltung der technischen Einheiten auf. Nur 5 % der befragten Unternehmen wenden mehr als 5 % der Gesamtkosten für die Instandhaltung der technischen Einheiten auf [vgl. Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 10].

In Abbildung 2.40 ist die Verteilung der befragten Unternehmen hinsichtlich der aufgewendeten (direkten) Instandhaltungskosten bezogen auf die Gesamtkosten dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 10]

Abbildung 2.40: Instandhaltungsaufwendungen bezogen auf die Gesamtkosten

Insgesamt bedeutet dies, dass die befragten Unternehmen in etwa 2-6 % ihrer Gesamtkosten für die Instandhaltung der technischen Einheiten aufwenden [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 18-19]. Dabei ist allerdings davon auszugehen, dass es sich bei den genannten Instandhaltungsaufwendungen überwiegend um die direkten Instandhaltungskosten handelt und der Anteil der indirekten Instandhaltungskosten aufgrund schwieriger Quantifizierbarkeit unberücksichtigt bleibt [vgl. Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 10]. Die indirekten Instandhaltungskosten werden auf das 3- bis 5-fache der direkten Instandhaltungskosten geschätzt [vgl. Studie II, Kuhn u. a., 2006, S. 18]. Diese Einschätzung erscheint allerdings als eine Fehleinschätzung, da ein so großer Anteil an indirekten Instandhaltungskosten in keinem Unternehmen unberücksichtigt bleiben würde.

2.5 Bewertung der Erkenntnisse

Die erörterte Instandhaltungstheorie beschreibt in Verbindung mit den Ergebnissen der analysierten Studien die Grundlagen der Instandhaltung sowie die Situation der betrieblichen Instandhaltung in der Praxis. Die fundierten Informationen und ausgewerteten Daten zeigen, wie die Instandhaltung in vielen Unternehmen vonstatten geht.

- In **großen Unternehmen** erfolgt die Instandhaltung der technischen Einheiten im Rahmen eines organisatorischen Gesamtkonzeptes zur Durchführung der betrieblichen Aufgaben. Gemäß der Instandhaltungstheorie beinhaltet dabei die Organisationsstruktur die Aufbau- und Ablauforganisation der Instandhaltung entsprechend den aufbauorganisatorischen Grundformen (vgl. Kapitel 2.3.2.1). Zur Bildung von organisatorischen Einheiten stehen in der Regel ausreichend personelle Instandhaltungsressourcen mit den entsprechenden Zuständigkeiten zur Verfügung. Die Ablauforganisation der Instandhaltung zur Koordination und Durchführung aller Instandhaltungsaktivitäten erfolgt überwiegend durch die unternehmenseigenen Instandhaltungsmitarbeiter nach einer klar gegliederten räumlichen und zeitlichen Ordnung (vgl. Kapitel 2.3.2.2). Zusätzlich zur Eigeninstandhaltung werden auch Drittunternehmen eingesetzt, um mittels Fremdvergabe gewisse Kapazitätsengpässe auszugleichen, bei technischen Einheiten mit hohem Automatisierungsgrad und hoher Komplexität eine schnelle Rückführung in den Leistungserstellungsprozess zu erzielen oder um eine Reduzierung der Kosten zu erreichen. Dazu werden meist ganze Leistungspakete vereinbart und fremd vergeben.

Die systematische Verknüpfung von passenden Elementen der klassischen Instandhaltungsstrategien und der modernen Instandhaltungskonzepte sowie der Einsatz von fortschrittlichen Technologien gewährleistet in großen Unternehmen die Sicherstellung einer betriebspezifisch erforderlichen Verfügbarkeit und einer zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten. Zusätzlich bewirkt die Nutzung von speziell ausformulierten und angepassten Instandhaltungskonzeptionen, dass weniger Störungen und Ausfälle der technischen Einheiten auftreten und dass neben den direkten Instandhaltungskosten geringere indirekte Instandhaltungskosten anfallen. Die notwendigen finanziellen Mittel werden im Vorfeld budgetiert und für die Instandhaltung der technischen Einheiten eingesetzt.

In großen Unternehmen leistet die betriebliche Instandhaltung einen deutlichen Beitrag zur Wertschöpfung. Die Instandhaltung orientiert sich dabei stark an der Instandhaltungstheorie und stellt eine integrale Querschnittsfunktion in den Unternehmen dar. Dies führt zu einer kontinuierlichen Weiterentwicklung der personellen und technischen Instandhaltungsressourcen, wodurch die betriebliche Instandhaltung einen positiven Verlauf erfährt und somit die wesentlichen Erwartungen der Unternehmen *vollends erfüllt*.

- Die **mittleren Unternehmen** besitzen in der Regel eine weniger ausgeprägte Organisationsstruktur zur Durchführung der betrieblichen Aufgaben. Dennoch ist eine Aufgabenteilung möglich, sodass die Aufbau- und Ablauforganisation der Instandhaltung dennoch nach den aufbauorganisatorischen Grundformen (vgl. Kapitel 2.3.2.1) gemäß der Instandhaltungstheorie erfolgt. Unternehmenseigene Instandhaltungsmitarbeiter bilden ebenfalls organisatorische Einheiten, die im Rahmen einer vorhandenen Ablauforganisation die Koordination und Erledigung aller Instandhaltungsaktivitäten nach einer klar gegliederten räumlichen und zeitlichen Ordnung (vgl. Kapitel 2.3.2.2) wahrnehmen. Parallel werden bei mittleren Unternehmen auch Drittunternehmen für Instandhaltungsaufgaben eingesetzt, sofern spezielle Fachkompetenz und entsprechende Qualifikationen erforderlich sind oder wenn dadurch ein Ausgleich von fehlenden Personalkapazitäten zur schnelleren Rückführung der technischen Einheiten in den Leistungserstellungsprozess erreicht werden kann.

Eine zunehmend systematische Planung und genauere Abstimmung der Instandhaltungsmaßnahmen ermöglicht mit vermehrtem Einsatz von fortschrittlichen Technologien eine bessere Sicherstellung der betriebspezifisch erforderlichen Verfügbarkeit und zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten. Die notwendigen finanziellen Mittel werden dafür größtenteils geplant und je nach Bedarf für die Instandhaltung der technischen Einheiten aufgewendet.

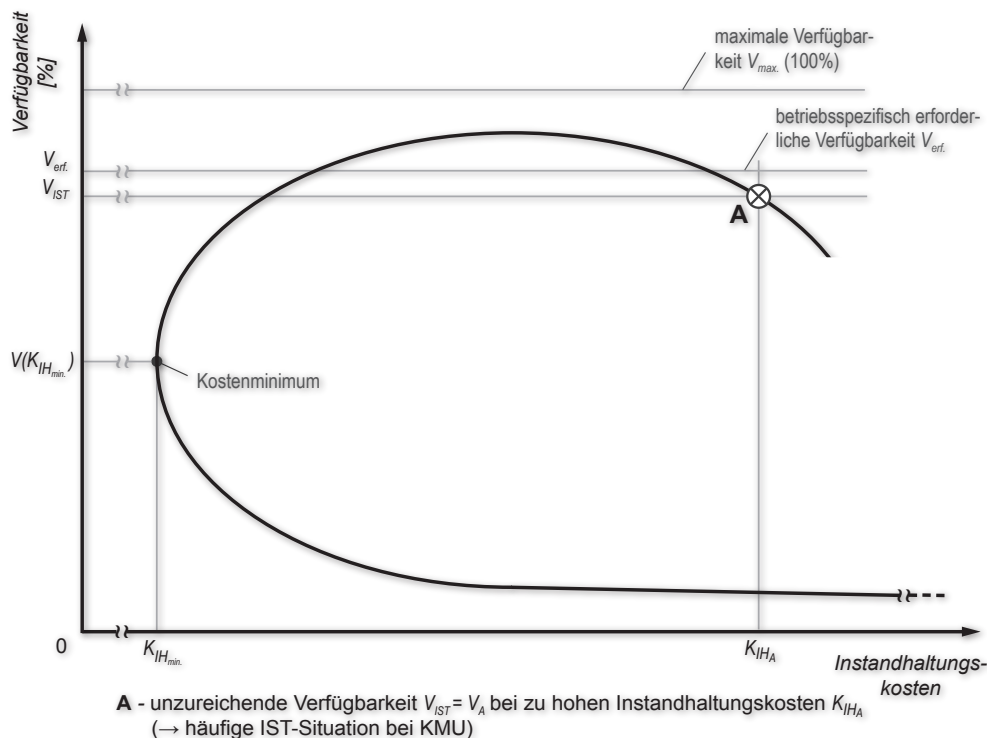
Die steigenden Anforderungen führen zu einem Bedeutungszuwachs der Instandhaltung bei mittleren Unternehmen. Der Beitrag der betrieblichen Instandhaltung zur Wertschöpfung wird daher zunehmend anerkannt, jedoch stellt neben den fehlenden personellen Instandhaltungsressourcen die Aus- und Weiterbildung der Instandhaltungsmitarbeiter einen Schwachpunkt dar. Des Weiteren fallen für Instandhaltungsleistungen der Drittunternehmen aufgrund von höheren Stundenverrechnungssätzen erheblich höhere direkte Instandhaltungskosten an. In Verbindung mit deren längeren Reaktionszeiten sowie einem häufig zusätzlich betriebenen Mehraufwand wirkt sich dies spürbar auf die indirekten Instandhaltungskosten aus. Meist findet deshalb nur eine temporäre Fremdvergabe von bestimmten, abgrenzbaren Instandhaltungsaufgaben statt. Die wesentlichen Erwartungen der Unternehmen an eine professionelle und verantwortungsbewusste Instandhaltung werden dadurch nur *teilweise erfüllt*.

- Bei **Kleinstunternehmen** und **kleinen Unternehmen** ist häufig kein organisatorisches Gesamtkonzept zur Durchführung der betrieblichen Aufgaben vorhanden. Sie zeichnen sich vielmehr dadurch aus, dass verschiedene betriebliche Funktionen von ein und denselben Mitarbeitern ausgeführt werden. Eine Organisationsstruktur mit klar definierten Zielen, die auch die Aufbau- und Ablauforganisation der Instandhaltung beinhaltet, ist daher meist nicht vorhanden. Aufgrund von wenigen spezifischen Einzelaufgaben ist eine Aufgabenteilung unwirtschaftlich oder aus personellen Gründen nicht möglich. In Bezug auf die betriebliche Instandhaltung fehlt daher häufig unternehmenseigenes Instandhaltungspersonal, sodass der Hauptanteil der

Instandhaltungsaufgaben zu Lasten der Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten geht.

Trotz der Integration von Instandhaltungsaufgaben ist neben der autonomen Instandhaltung auch immer eine Fremdvergabe von Instandhaltungsleistungen an Drittunternehmen notwendig. Dadurch erfolgt eine Verteilung der instandhaltungsbezogenen Aufgaben auf diejenigen Akteure, welche das fehlende Instandhaltungsvermögen ausgleichen und die Instandhaltungstätigkeiten möglichst anforderungsgerecht und zeitnah ausführen können. Die damit häufig verbundenen langen Reaktionszeiten und deutlich höheren Stundenverrechnungssätze der Drittunternehmen belasten jedoch die Unternehmen sehr. Ebenfalls überfordern die Koordination sowie ein systematisches Vorgehen bei der Instandhaltungsdurchführung als auch der Einsatz von fortschrittlichen Technologien die Unternehmen. Dieser Umstand führt dazu, dass weder ein systematisches Vorgehen noch fortschrittliche Technologien zur Anwendung kommen, sich die Betriebszeiten immer wieder ausdehnen und die Unternehmen den Einsatz von Drittunternehmen oftmals aus Kostengründen reduzieren. Eine Fremdvergabe von Instandhaltungsleistungen an Drittunternehmen erfolgt deshalb nur in Sonderfällen, sodass eine verantwortungsvolle Instandhaltung nicht immer gewährleistet ist und monetäre Werte vernichtet werden. Bezogen auf die eingesetzten technischen Einheiten bedeutet dies, dass in vielen Unternehmen eine betriebsspezifisch erforderliche Verfügbarkeit und eine zuverlässige Funktions- und Leistungsfähigkeit gar nicht immer gegeben ist und dennoch hohe Kosten bei der Instandhaltung entstehen. Nicht selten werden durch nicht oder falsch durchgeführte Instandhaltungsmaßnahmen große Schäden hervorgerufen, die insbesondere in Kleinunternehmen und kleinen Unternehmen sogar zu einer Gefährdung der Existenz führen können. Bei Kleinunternehmen und kleinen Unternehmen werden daher die wesentlichen Erwartungen an die betriebliche Instandhaltung *nicht erfüllt*.

In Abbildung 2.41 wird der beschriebene Zusammenhang der häufig unzureichenden Verfügbarkeit bei zu hohen Instandhaltungskosten durch Punkt A dargestellt.

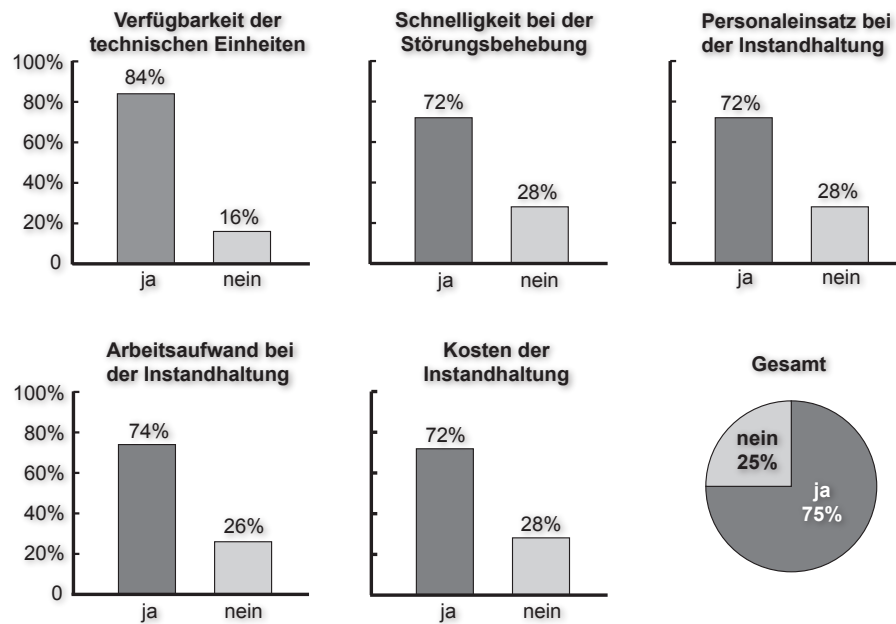


Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Bohl u. a., 1976, S. 67]

Abbildung 2.41: Unzureichende Verfügbarkeit bei zu hohen Instandhaltungskosten

Die Erörterung der Instandhaltung zeigt, dass in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße ein sehr unterschiedliches Instandhaltungsmanagement erfolgt. Etwa 75 % der befragten Unternehmen kommen damit zurecht und sind mehr oder weniger zufrieden. Allerdings sind auch zirka 25 % der Unternehmen mit der bestehenden Situation sehr unzufrieden.

In Abbildung 2.42 ist dargestellt, inwieweit die betriebliche Instandhaltung den Erwartungen der Unternehmen entspricht.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Studie IV, Weißenbach, 2007b, S. 17]

Abbildung 2.42: Erfüllungsggrad der betrieblichen Instandhaltung

Die ständig steigende Belastung und die sich permanent verändernden Marktgegebenheiten zwingen die Unternehmen, sich fortwährend dem Wettbewerb zu stellen. Die großen Unternehmen und ein Teil der mittleren Unternehmen bewältigen diese Herausforderungen sehr gut. Kleinstunternehmen, kleine und viele mittlere Unternehmen kommen damit jedoch nur schlecht zurecht. Sie konzentrieren sich auf ihr Kerngeschäft und dessen Hauptgeschäftsprozesse, vernachlässigen aber wichtige Nebengeschäftsprozesse wie die Instandhaltung. Bei einem Viertel aller Unternehmen findet aus diesem Grund die Instandhaltung auf einem sehr niedrigen Niveau statt. Der Zustand der betrieblichen Instandhaltung gleicht dort – wie bereits erwähnt – tatsächlich einer „Instandhaltungswüste“ (vgl. Kapitel 1.1).

In Abbildung 2.43 sind Instandhaltungsbereiche bei verschiedenen KMU dargestellt, welche die prekäre Situation sinnbildlich aufzeigen.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 2.43: Instandhaltungswüste bei KMU

2.6 Fazit

Die Bestimmung der Instandhaltung hat gezeigt, dass die Instandhaltungstheorie meist vom Idealzustand mit ausreichend vorhandenem Instandhaltungsvermögen ausgeht. Für große Unternehmen und einen Teil der mittleren Unternehmen stellt die praktische Umsetzung der Instandhaltungstheorie weder strategisch noch organisatorisch ein Problem dar. Die restlichen KMU haben jedoch bei der praktischen Umsetzung der Instandhaltungstheorie große Probleme. Die Instandhaltungsorganisation vieler KMU ist aus strukturellen und finanziellen Gründen oft nicht in der Lage, die an sie gestellten Anforderungen zu erfüllen. Das häufig zu geringe Instandhaltungsvermögen und die in der Praxis meist notwendige Kombination der unterschiedlichen Instandhaltungsstrategien und -konzepte überfordern die Unternehmen oft – eine zielgerichtete Umsetzung der Instandhaltungstheorie ist daher nicht möglich. Auf diese Problematik geht die Instandhaltungstheorie allerdings nicht ein und bietet deshalb auch keine entsprechenden Lösungen für diese Fälle. Je nach Bedarf müssen daher die fehlenden Instandhaltungsressourcen von Drittunternehmen fremd bezogen werden. Diese Vorgehensweise wirkt sich häufig in geringerer Verfügbarkeit der technischen Einheiten und höheren Instandhaltungskosten für die Unternehmen nachteilig aus.

Die erlangten Erkenntnisse bezüglich der betrieblichen Instandhaltung bestätigen die erste und zweite These (vgl. Kapitel 1.2). Es müssen nun Überlegungen angestellt werden, um für KMU eine geeignete Möglichkeit zur Instandhaltung der technischen Einheiten zu finden. Die partnerschaftliche Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen spielt dabei eine wichtige Rolle. Die Möglichkeiten der Kooperation werden für die betriebliche Instandhaltung jedoch nur teilweise genutzt. Es ist daher sinnvoll, eine differenziertere Auseinandersetzung mit der **„partnerschaftlichen Zusammenarbeit von Unternehmen“** vorzunehmen, um eine adäquate Lösung in Bezug auf die Instandhaltung bei KMU zu finden.

3 Partnerschaftliche Zusammenarbeit

Die **partnerschaftliche Zusammenarbeit** von Unternehmen eröffnet eine Vielzahl an Möglichkeiten der Effektivitäts- und Effizienzsteigerung in den verschiedensten Bereichen der Wertschöpfung. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um Produktions-, Handels- oder Dienstleistungsunternehmen handelt. Ebenfalls ist nicht relevant, ob die Unternehmen innerhalb einer Branche zusammenarbeiten oder ob sie branchenübergreifend agieren.

In Kapitel 3 werden zunächst die theoretischen Grundlagen der partnerschaftlichen Zusammenarbeit erläutert. Dabei wird auf betriebliche *Kooperationen* und anschließend auf *Netzwerke* als spezifische Form der partnerschaftlichen Zusammenarbeit eingegangen. Im Anschluss erfolgt eine kurze *Bewertung der Erkenntnisse*, um zu prüfen, inwieweit sich die Theorie mit der betriebliche Instandhaltung als Gegenstand kooperativer Beziehungen beschäftigt.

Im Anschluss werden im Rahmen dieser Arbeit und unter Zuhilfenahme der gewonnenen Erkenntnisse die strukturellen Grundlagen für die Bestimmung der *kooperativen Instandhaltung* erarbeitet. Danach findet eine Identifizierung von verschiedenen Vorgehensweisen auf Basis der kooperativen Instandhaltung statt, die auch eine mögliche Lösung als geeignete Vorgehensweise für die betriebliche Instandhaltung von technischen Einheiten bei KMU beinhalten können.

3.1 Kooperationen

Als **Kooperation**¹ wird im Allgemeinen jegliche Form der Zusammenarbeit bezeichnet [vgl. Gräber-Seißinger, 2008, S. 341]. Die oft sehr vielfältigen Arrangements zwischen zwei oder mehreren Akteuren (Kooperationspartnern) sind meist mit positiven Attributen belegt und setzen dabei ein koordiniertes Handeln, ein Zusammenwirken und eine Zusammenarbeit voraus [vgl. Wojda u. a., 2006, S. 5]. Die Kooperation stellt somit ein probates Mittel dar, um mögliche Chancen zu vergrößern und gleichzeitig Risiken zu verteilen bzw. zu mindern.

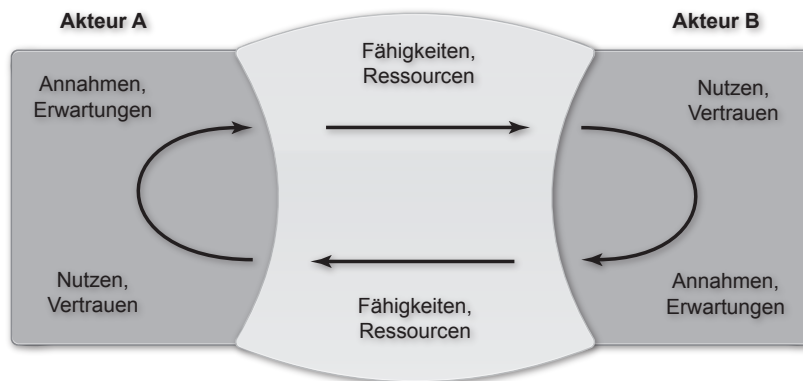
Das **Grundmodell einer Kooperation** verdeutlicht das vereinte Handeln zweier Akteure A und B bei der partnerschaftlichen Zusammenarbeit zur gemeinsamen Zielerfüllung. Die Kooperation stellt dabei eine freiwillige Verbindung dar, in der die beiden Akteure bestimmte Aufgaben übernehmen [vgl. Wirth u. Baumann, 2001, S. 28]. Sie bringen jeweils ihre eigenen Fähigkeiten und Ressourcen in die Kooperation ein [vgl. Payer, 2008, S. 7]. So kann jeder Akteur vom anderen profitieren.

In Abbildung 3.1 ist das Grundmodell einer Kooperation zwischen zwei Akteuren A und B dargestellt.

3.1.1 Ziele von Kooperationen

Die Ziele von Kooperationen lassen sich weniger als Einzelziele, sondern eher als Zielbündel verstehen, die sich im Laufe der Zeit auch verändern können [vgl. Küting u. Zink, 1983, S. 5], [vgl. Morschett, 2005, S. 382]. Im Hinblick auf eine *betriebliche Kooperation* werden die Nutzung ge-

¹ *Kooperation* – ursprünglich von griech. *συνεργασία* – dt. Zusammenwirken von Lebewesen, Stoffen oder Kräften im Sinne von „sich gegenseitig fördern“ [vgl. Payer, 2008, S. 7]; lat. *cooperatio* – dt. Mitwirkung, Mitarbeit, Zusammenarbeit oder „gemeinsames Erfüllen von Aufgaben“ [vgl. Rosner, 2008, S. 570].



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Payer, 2008, S. 7]

Abbildung 3.1: Grundmodell einer Kooperation

meinsamer Ressourcen und wechselseitiges Unterstützen, voneinander Lernen sowie die Konzentration wichtiger Kompetenzen und übergreifender Aktivitäten zum beiderseitigen Vorteil als wichtigste Ziele einer Kooperation genannt. Die beteiligten Akteure bringen dabei besondere Fähigkeiten, Erfahrungen und Beziehungen in die Kooperation ein, um von der Zusammenarbeit mit den beteiligten Partnern profitieren zu können. Die gemeinsame Leistungserbringung und -fähigkeit wird dadurch größer und kann über die Summe der jeweiligen Einzelleistungen hinaus gesteigert werden [vgl. Wojda u. a., 2006, S. 5], [vgl. Payer, 2008, S. 7]. Daraus entsteht der durch eine Kooperation häufig angestrebte *Synergieeffekt*², der als oberstes Ziel und somit als der Mehrwert einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit betrachtet wird [vgl. Payer, 2008, S. 7]. Meist führt dieser Mehrwert bei allen beteiligten Akteuren ein positives Ergebnis herbei.

3.1.2 Vor- und Nachteile von Kooperationen

Die partnerschaftliche Zusammenarbeit von Unternehmen bietet im Vergleich zur eigenen Leistungserbringung bzw. zum Fremdbezug von Leistungen am Beschaffungsmarkt gewisse Vor- und Nachteile [vgl. Killich u. Luczak, 2003, S. 8-9], [vgl. Killich, 2007, S. 21-22].

- **Vorteile von Kooperationen:**

- Durch Kooperationen sind Ergebnisse realisierbar, die durch alleiniges Handeln gar nicht, nur teilweise oder nur in einem längeren Zeitraum umgesetzt werden könnten.
- Handelt es sich um eine sukzessive erweiterte Kooperation, können Risiken reduziert werden. Erst nachdem sich ein Vertrauensverhältnis zwischen den Kooperationspartnern aufgebaut hat, werden „sensible Aufgaben“ gemeinsam bearbeitet.
- Die Selbständigkeit der Unternehmen bleibt erhalten, was sich bei KMU besonders in deren Flexibilität ausdrückt.

- **Nachteile von Kooperationen:**

- Es sind spezielle Abstimmungs-, Planungs- und Steuerungsvereinbarungen zu treffen, die neben einem kooperationsfördernden Verhalten auch ein kooperationshemmendes Verhalten regeln.
- Trotz umfassender Vereinbarungen ist es möglich, dass einzelne Kooperationspartner nur einen kurzfristigen Vorteil aus der Kooperation ziehen und vorzeitig die Kooperationsbeziehung beenden, obwohl noch weitere Kooperationsaktivitäten geplant sind.

² *Synergieeffekt* – Als Synergieeffekt wird die außergewöhnliche Wirkung verstanden, die sich durch Synergien einstellen kann. Synergieeffekte sind Wettbewerbsvorteile, die zumeist durch Kostenersparnisse erlangt werden und zur Steigerung der Gesamtleistungsfähigkeit führen [vgl. Diesfeld, 2004, S. 54].

3.1.3 Grundformen von Kooperationen

Die **Grundformen von Kooperationen** geben darüber Auskunft, wie der Zusammenschluss von Kooperationspartnern erfolgen kann und zu welchen Bedingungen sich eine Kooperation vollzieht. Dabei kann man bei der partnerschaftliche Zusammenarbeit drei voneinander abgrenzbare, grundlegende Kooperationsformen unterscheiden [vgl. Hess, 2002, S. 8-10]:

- Eine **überbetriebliche Kooperation** ist dadurch charakterisiert, dass sich beispielsweise Unternehmen, Forschungs- und Bildungseinrichtungen, Dienstleister, Verbände, Kommunen und öffentliche Einrichtungen einer bestimmten Branche zusammenschließen [vgl. Hess, 2002, S. 8-9]. Das Hauptziel ist dabei die Interessenbündelung der Mitglieder und nicht notwendigerweise die gemeinsame Erstellung eines am Markt verwertbaren Produktes oder einer Dienstleistung [vgl. Linn, 1989, S. 12-13].
- Eine **innerbetriebliche Kooperation** zeichnet sich durch Kooperationspartner (einzelne Bereiche eines großen Unternehmens) aus, die rechtlich nicht selbständig sind [vgl. Pampel, 1993, S. 9-10]. Dies zeigt sich, wenn einzelne Unternehmensbereiche nicht frei über die Teilnahme an bzw. die Beendigung von einer Kooperation entscheiden können, sondern die Zustimmung einer übergeordneten Instanz (Unternehmensleitung) notwendig ist [vgl. Kraege, 1997, S. 52].
- Eine **zwischenbetriebliche Kooperation** ist charakterisiert durch „... die bewusste, zwischenbetriebliche und freiwillige Zusammenarbeit selbständiger Unternehmen mit der Absicht, ohne Aufgabe der grundsätzlichen unternehmerischen Entscheidungsfreiheit, in bestimmten betrieblichen Teilbereichen gemeinsame wirtschaftliche Ziele zu realisieren“ [Düttmann, 1989, S. 73], wenn „... that would be difficult for each to accomplish alone“ [Spekman u. Isabella, 2000, S. 37].

In Tabelle 3.1 sind zur Abgrenzung der Grundformen von Kooperationen die wichtigsten Eigenschaften dargestellt.

Tabelle 3.1: Abgrenzung der Grundformen einer Kooperation

Anforderung	Überbetriebliche Kooperation	Innerbetriebliche Kooperation	Zwischenbetriebliche Kooperation
Rechtlich selbständige Partner	ja	teilweise	ja
Erstellung von Produkten oder Dienstleistungen	nein	ja	in der Regel

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Hess, 2002, S. 9]

3.1.4 Anwendungsbereiche von Kooperationen

Eine partnerschaftliche Zusammenarbeit kann auf sämtlichen Ebenen und in den unterschiedlichsten Unternehmensbereichen vollzogen werden, jedoch beschränken sich Kooperationen meist auf einen bestimmten oder gegebenenfalls auf mehrere spezielle Anwendungsbereiche in der Wertschöpfungskette [vgl. Kaiser u. Kaiser, 2000, S. 10].

Die häufigsten Anwendungsbereiche sind die im Folgenden genannten Unternehmensbereiche [vgl. Balling, 1998, S. 44-49], [vgl. Wirth u. Baumann, 2001, S. 95], [vgl. Schöne, 2003, S. 6-8]:

- **Marktforschung und Marketing**
Gemeinsame Marktforschungs- und Marketingaktivitäten bieten Potenziale zur Schaffung von Wettbewerbsvorteilen. Die systematische Marktbeobachtung ist durch die gemeinschaftliche

Inanspruchnahme von Marktforschungsinstituten und einer gemeinsamen Auswertung von Marktinformationen bzw. durch gemeinsames Benchmarking³ für jeden einzelnen Kooperationspartner einfacher und erlaubt eine schnellere Auswahl von Marktsegmenten. Die Erschließung von räumlichen und sachlichen Absatzmöglichkeiten führt zu Erweiterungen von Absatzmengen und Produktpaletten.

- **Forschung und Entwicklung**

Die Forschung und Entwicklung stellt für die Wettbewerbsfähigkeit einen sensiblen Bereich dar. Durch die Bündelung von vorhandenen Forschungs- und Entwicklungskapazitäten ist häufig eine bessere strategische Ausrichtung möglich. Die Entwicklung zukunftsfähiger Produkte setzt oftmals eine interdisziplinäre und branchenübergreifende Kooperation voraus. Die Erschließung von Synergieeffekten ist dabei das wesentliche Argument für eine nachhaltige Entwicklung neuer Technologien und Verfahren. Bei risikoreichen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben ist eine Kostenaufteilung innerhalb einer Kooperation ebenso möglich wie bei der Anmeldung von gemeinsamen Patenten.

- **Finanzierung**

Zur Finanzierung von Investitionsvorhaben ist eine Kooperation hilfreich, um die kritische Masse zu erreichen. Gleiches gilt zur Verbesserung der Kapitalausstattung oder bei gemeinsamer Inanspruchnahme von öffentlichen Finanzierungsmöglichkeiten. Die Bündelung der Nachfrage ermöglicht eine Verstärkung der Nachfragemacht gegenüber Kapitalanbietern und erhöht die Kreditwürdigkeit aufgrund von Garantien der beteiligten Partner. Bei gemeinsamer Rechtsform⁴ einer Kooperation ist zudem eine bessere Eigen- und Fremdkapitalbeschaffung über die Beteiligungsfinanzierung möglich. Ebenso ist ein Liquiditätsverbund der Kooperationspartner denkbar, um gemeinsam die Verfügbarkeit von ausreichenden Zahlungsmitteln zu gewährleisten.

- **Beschaffung und Materialwirtschaft**

Zum gemeinsamen Einkauf von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen werden Beschaffungsk Kooperationen geschlossen, um das Einkaufsvolumen zu bündeln und eine gewisse Einkaufsmacht gegenüber den Anbietern darzustellen. Bei der Beschaffung von technischen Einheiten lassen sich unterschiedliche Spezialisierungs- und Preisvorteile nutzen und gegebenenfalls eine Verbesserung der Beschaffungsprozesse erreichen. Im Bereich der Materialwirtschaft ermöglichen Kooperationen eine gemeinsame Lagerhaltung und Materialprüfung zur Reduzierung der Kosten oder eine koordinierte Distribution bzw. Wegoptimierung zur besseren Transportauslastung.

- **Produktion**

Im Produktionsbereich dienen Kooperationen zur besseren Auslastung von technischen Einheiten durch gemeinsame Nutzung der Kapazitäten. Weiterhin lassen sich im Sinne einer „verlängerten Werkbank“⁵ vor- oder nachgelagerte Wertschöpfungsprozesse aus der eigenen Produktion auslagern. Die Bündelung der Produktion ermöglicht einen Erfahrungsaustausch, eine Risikominimierung und schnellere Kostenamortisation [vgl. Klanke, 1995, S. 45]. Zudem lassen sich größere Auftragsvolumina im Kooperationsverbund bearbeiten. Auch das Leistungsprofil kann durch Kooperation erweitert oder komplettiert werden. Gemeinsame Qualitätssicherung und Zertifizierung ermöglichen eine Vereinbarung über die einheitliche Nutzung von Normen oder Richtlinien.

³ *Benchmarking* – von engl. benchmark – dt. Maßstab, Bezugspunkt, Vergleichspunkt; hier: Ein Instrument der Wettbewerbsanalyse, womit kontinuierliche Vergleiche von Produkten (Dienstleistungen), Prozessen und Methoden eines Unternehmens mit denen der besten Konkurrenten gemacht werden. Der Zweck ist dabei, die Leistungslücke zum führenden Unternehmen in der Branche systematisch zu schließen.

⁴ *Rechtsform* – Als Rechtsform werden die gesetzlichen Rahmenbedingungen einer Gesellschaft definiert. Diese werden üblicherweise in einem Gesellschaftsvertrag festgelegt, der in Ausnahmefällen, beispielsweise bei der BGB-Gesellschaft, auch mündlich geschlossen werden kann. Die Rechtsform wirkt sich unter anderem auf Haftungsfragen der Gesellschafter und deren Recht zur Geschäftsführung aus. Sie bestimmt zudem, ob die Gesellschaft eine eigene Rechtspersönlichkeit besitzt, wie beispielsweise eine Aktiengesellschaft, oder ob ihre Gesellschafter als natürliche Personen handeln.

⁵ *Verlängerte Werkbank* – Als verlängerte Werkbank wird die Auslagerung gewisser Arbeiten an einem Produkt oder einer Dienstleistung an einen Lieferanten oder externen Spezialbetrieb verstanden.

- **Vertrieb und Service**

Die Bildung von Vertriebskooperationen lässt die gemeinsame Nutzung von Verkaufsstellen oder Niederlassungen sowie Beratungsstellen zur räumlichen Ausweitung des Vertriebsgebietes zu. Mittels gemeinsamer Vertriebsnetze wird ein leichter Einstieg auf neuem Terrain möglich, um neue Auslandsmärkte zu erschließen. Im Servicebereich dienen Kooperationen oft dem Outsourcing von Leistungen, die nicht den Kernkompetenzen entsprechen, aber eine Erweiterung im Sinne von Mehrleistungen für den Kunden darstellen. Bei gleichartigen Erzeugnissen lassen sich Synergieeffekte erzielen bzw. gemeinsame Ressourcen zur Verkürzung von Reaktionszeiten einsetzen.

- **Personal**

Im Personalbereich dienen Kooperationen häufig der besseren Auslastung der Personalkapazitäten, ermöglicht durch kooperationsumfassende Personalplanungen. Ein Austausch von Arbeitskräften erfolgt dabei auf vertraglicher Basis oder nach den Regeln des Arbeitnehmerüberlassungsgesetzes⁶ (AÜG). Ebenfalls finden Kooperationen zur gemeinsamen Lehrlingsausbildung und für Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen sowie zur Risikoteilung bei innovativen Beschäftigungsmodellen statt.

3.1.5 Systematisierung von Kooperationen

Eine Kooperation von Unternehmen zeichnet sich durch eine Vielzahl an Gestaltungsmöglichkeiten aus. Je nach Anwendungsbereich und Zielsetzung der partnerschaftlichen Zusammenarbeit wird deshalb nach der *Ausrichtung* oder nach der *Art* einer Kooperation unterschieden. Eine Kombination von Ausrichtung und Art einer Kooperation ist zur Systematisierung ebenfalls möglich [vgl. Wigand u. a., 2004, S. 224].

3.1.5.1 Ausrichtung von Kooperationen

Die Ausrichtung einer Kooperation gibt an, auf welcher Wertschöpfungsstufe⁷ mit einem Kooperationspartner zusammengearbeitet wird und ob die an einer Kooperation beteiligten Unternehmen in derselben oder gegebenenfalls in verschiedenen Branchen tätig sind [vgl. Schöne, 2003, S. 9], [vgl. Killich, 2007, S. 18-19].

Eine Differenzierung findet dabei wie folgt statt [vgl. Dörsam u. Icks, 1997, S. 7]:

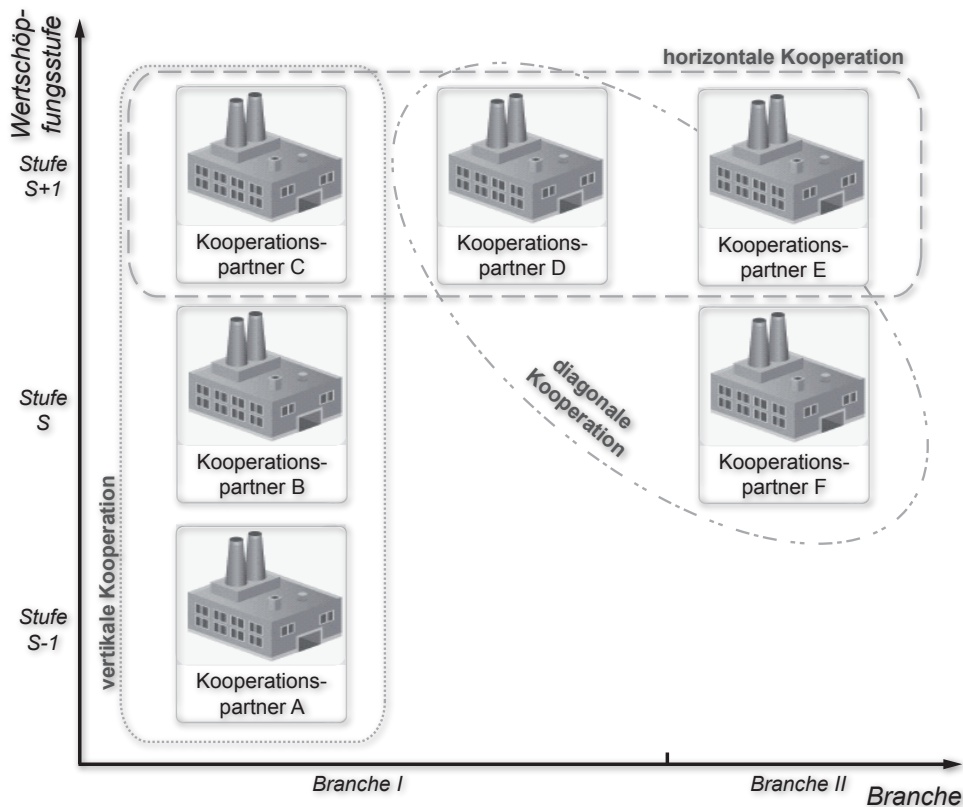
- Bei **horizontalen Kooperationen** stehen alle Kooperationspartner auf der gleichen Wertschöpfungsstufe in derselben Branche mit gleichen bzw. ähnlichen Tätigkeitsbereichen. Exemplarisch für eine horizontale Kooperation ist der Zusammenschluss von Unternehmen mit ähnlichem Leistungsprofil (momentane oder potenzielle Konkurrenten) zur Abarbeitung von großen Aufträgen, um Kosten-, Qualitäts- oder Zeitvorteile zu erreichen und um das Risiko auf alle beteiligten Kooperationspartner zu verteilen [vgl. Bullinger u. a., 2003, S. 113-114].
- Bei **vertikalen Kooperationen** findet ein Zusammenschluss zwischen Unternehmen auf vor- bzw. nachgelagerten Stufen in der Wertschöpfungskette innerhalb einer Branche statt. Es handelt sich dabei häufig um Zulieferunternehmen und Finalproduzenten eines bestimmten Produktes. Die Produkte und Produktionsprozesse werden dabei aufeinander abgestimmt und die Lieferbeziehung durch Kooperationsverträge abgesichert [vgl. Wirth u. Baumann, 2001, S. 95].

⁶ *Arbeitnehmerüberlassungsgesetz* – Das Arbeitnehmerüberlassungsgesetz (AÜG) regelt die gewerbsmäßige Überlassung von Arbeitnehmern und diente ursprünglich dem sozialen Schutz der Leiharbeiter. Es sollte diese insbesondere vor Ausbeutung bewahren; mittlerweile verfolgt der Gesetzgeber mit dem AÜG auch arbeitsmarktpolitische Zwecke.

⁷ *Wertschöpfungsstufe* – Durch die Verknüpfung wertschöpfender Aktivitäten entstehen Wertschöpfungsketten, die sich in strategisch relevante Tätigkeiten gliedern. Als Wertschöpfungsstufe wird dabei die sinnvolle Zusammenfassung von einzelnen Wertaktivitäten verstanden [vgl. Porter, 2000, S. 63].

- Bei **diagonalen Kooperationen** findet ein Zusammenschluss zwischen Unternehmen verschiedener Branchen und aus unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen statt, um fehlende Potenziale und Kompetenzen zu nutzen oder bei bestehender oder potenzieller Nachfrage eine entsprechende Leistung anbieten zu können [vgl. Bronder, 1993, S. 69]. Bei diagonalen bzw. komplementären⁸ Kooperationen ergänzen sich die Kooperationspartner durch eine Wissens- oder Leistungskombination.

In Abbildung 3.2 sind die unterschiedlichen Ausrichtungen von Kooperationen dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Bullinger, 2003, S. 113-114] und [Dörsam und Icks, 1997, S. 7]

Abbildung 3.2: Ausrichtungen von betrieblichen Kooperationen

3.1.5.2 Arten von Kooperationen

Die verschiedenen Möglichkeiten der Kooperation werden als die Arten einer Kooperation oder auch als (Unter-) Formen einer Kooperation bezeichnet. Da sie sich teilweise mit den Grundformen der partnerschaftlichen Zusammenarbeit überschneiden können, richtet sich die Zuordnung nach den Bedingungen, unter denen eine Kooperation rein formal organisiert ist [vgl. Zentes u. a., 2004, S. 179-201].

- Eine **Interessengemeinschaft/Verbund** ist ein Zusammenschluss von Unternehmen oder Institutionen und besteht zur Förderung, Durchsetzung und Wahrung gemeinsamer Ziele (Interessen) meist auf vertraglicher Basis [vgl. Haderl u. a., 2000a, S. 1575].

⁸ *Komplementär – komplementär* – von franz. *complémentaire* – dt. persönlich haftender Gesellschafter – gegenseitig ergänzend; hier: Bezeichnet das Verhältnis zwischen Partnern, die einander bedingen als auch ausschließen, beispielsweise Dozent und Student.

- Eine **Arbeitsgemeinschaft/Konsortium**⁹ ist ein Zusammenschluss von Unternehmen, die für eine bestimmte Dauer eine Projektgemeinschaft bilden [vgl. Killich, 2007, S. 14]. Dadurch wird die Kapital- und Geschäftsbasis erweitert und das Risiko für die teilnehmenden Unternehmen verringert [vgl. Häberle, 2008, S. 693].
- Ein **virtuelles Unternehmen**¹⁰ ist der Zusammenschluss von Unternehmen, die für eine bestimmte Dauer gemeinsam, allerdings *nicht mit eigenem Namen* am Markt auftreten [vgl. Haderler u. a., 2000b, S. 3361-3363]. Sie bringen dabei ihre Kernkompetenzen (Stärken) zur besseren Ausrichtung auf die Kundenbedürfnisse in die gesamte Wertschöpfungskette ein [vgl. Killich, 2007, S. 15].
- Ein **Gemeinschaftsunternehmen/Joint Venture**¹¹ ist der Zusammenschluss von Unternehmen durch Kapitalbeteiligung an einem weiteren Unternehmen. Die Kapitalgeber tragen dabei das finanzielle Risiko und nehmen je nach Kapitalbeteiligung entsprechende Führungsfunktionen im gemeinsamen Unternehmen wahr [vgl. Häberle, 2008, S. 648-649]. Die Kombination der jeweiligen Kernkompetenzen (Stärken) ermöglicht Synergieeffekte und Wettbewerbsvorteile [vgl. Haderler u. a., 2000a, S. 1669-1671].
- Das **Supply Chain Management (SCM)**¹² beschreibt eine Verbindung von Unternehmen derselben Branche. Hier geht es darum, durch eine prozessorientierte, unternehmensübergreifende und am Kundennutzen ausgerichtete Abstimmung aller Material-, Güter- und Informationsflüsse einer Wertschöpfungskette [vgl. Arnold u. a., 2008, S. 21] eine langfristige und partnerschaftliche win-win-Beziehung¹³ aufzubauen [vgl. Killich, 2007, S. 16].
- Eine **strategische Allianz** ist ein längerfristiges Bündnis von Unternehmen derselben Branche, um in einzelnen Geschäftsbereichen ihre Kernkompetenzen (Stärken) zu vereinen bzw. Schwächen zu kompensieren [vgl. Schäfer-Kunz, 1995, S. 71-73]. Dabei finden Tätigkeiten auf derselben Wertschöpfungsstufe zwischen momentanen oder potenziellen Konkurrenten mit ähnlichem Leistungsprofil statt [vgl. Killich, 2007, S. 17].
- Als **Franchising**¹⁴ wird ein auf Partnerschaft basierendes Vertriebssystem verstanden [vgl. Gräber-Seißinger, 2008, S. 215]. Hierfür arbeiten Unternehmen zusammen, wobei der *Franchise-Geber* die Planung, Durchführung und Kontrolle übernimmt und ein unternehmerisches Gesamtkonzept stellt, welches von den *Franchise-Nehmern* auf eigenes Risiko an ihren Standorten umgesetzt wird [vgl. Killich, 2007, S. 14].

3.1.5.3 Merkmale von Kooperationen

Die **allgemeinen Grundmerkmale** dienen einerseits der Abgrenzung einer Kooperation von anderen Beziehungen des gemeinsamen Handelns. Andererseits müssen verschiedene Kriterien erfüllt sein, um eine anspruchsvolle Verbindung zwischen kooperierenden Partnern zu ermöglichen [vgl. Payer, 2008, S. 7-9].

⁹ *Konsortium* – von lat. consors – dt. Genosse, Teilhaberschaft; hier: ein zeitlich befristeter Zusammenschluss von Unternehmen zur gemeinsamen Durchführung eines Vorhabens (Konsortialgeschäft).

¹⁰ *Virtualität* – *virtuell* – von lat. virtus – dt. Tugend, Tapferkeit; franz. virtuel – dt. fähig zu wirken, möglich; hier: Als Virtualität wird die Eigenschaft einer Sache beschrieben, die nicht existiert, in der sie zu existieren erscheint. Dies bedeutet, dass „virtuell“ gewisse Eigenschaften kennzeichnet, die zwar nicht real, aber durch den Einsatz von beispielsweise einer multimedialen Kommunikationsstruktur einer existierenden Sache – hier: einem eigenständigen Unternehmen – gleichen.

¹¹ *Joint Venture* – von engl. joint – dt. fügen, verbinden; engl. venture – dt. riskieren, wagen; hier: ein Gemeinschaftsunternehmen, meist von internationalen Unternehmen zur grenzüberschreitenden Zusammenarbeit.

¹² *Supply Chain Management* – von engl. Supply – dt. Versorgung, Belieferung; engl. Chain – dt. Kette, Verbindung; engl. Management – dt. Organisation, organisieren; hier: Das Supply Chain Management befasst sich mit der Organisation und Durchführung von Produktions- und Lieferketten innerhalb eines Wertschöpfungsprozesses.

¹³ *win-win-Beziehung* – von engl. win – dt. gewinnen, Gewinn; hier: eine geschaffene Situation, die für alle Beteiligten einen Nutzen hat und somit einen Gewinn (Mehrwert) darstellt [vgl. Killich u. Luczak, 2003, S. 104].

¹⁴ *Franchising* – von franz. Franchise – dt. Freiheit; engl. franchise – dt. vergeben, konzessionieren; hier: ein Vertriebssystem, das auf der Vergabe von Lizenzen bzw. Vertriebsrechten basiert, aber die Möglichkeit einräumt, frei am Markt zu agieren.

- **Identifizierbare Akteure/Kooperationspartner**
Allen beteiligten Kooperationspartnern ist bekannt, welche anderen Akteure an einer Kooperation teilnehmen. Dies gilt auch für Kooperationen mit mehreren Kooperationspartnern und unabhängig von der Komplexität der partnerschaftlichen Verbindung.
- **Nutzenorientierung**
Die beteiligten Kooperationspartner erwarten, aus der Kooperation einen Nutzen zu erzielen und gehen davon aus, dass sie ein bestimmtes Ziel mit den Kooperationspartnern besser bzw. überhaupt erreichen können.
- **Stärkenorientierung**
Das gemeinsame Handeln orientiert sich an den Stärken der beteiligten Akteure. Jeder Partner bringt Kompetenzen, Fähigkeiten oder bestimmte Ressourcen in eine Kooperation ein. Durch das Zusammenwirken der einzelnen Stärken wird etwas sinnvolles Neues erzeugt oder es können mögliche Schwächen kompensiert werden.
- **Partielle Kopplung**
Die Kooperationspartner bringen nur bestimmte Stärken in eine Kooperation ein, sodass die Akteure niemals ganz in einer Kooperation aufgehen. Im Falle eines Scheiterns sind sie nicht als Ganzes gefährdet.
- **Eigenständigkeit**
Durch eine Kooperation geht die Eigenständigkeit der einzelnen Kooperationspartner in der Regel nicht verloren. So unterscheidet sich eine Kooperation von einer Fusion¹⁵, bei der die rechtliche Selbstständigkeit der Kooperationspartner aufgelöst wird.
- **Soziales System**
Durch eine Kooperation entstehen soziale Systeme, deren Beziehungen gesteuert werden können. Meist haben sie eine *klare* Systemgrenze, zugleich entwickeln sie eine Eigendynamik und Unberechenbarkeit.

Für Kooperationen sind weitere **Merkmale** relevant, die auf den allgemeinen Grundmerkmalen aufbauen und dazu dienen, die Unternehmenskooperationen von anderen Formen der partnerschaftlichen Zusammenarbeit zu unterscheiden [vgl. Bestmann u. Ebert, 1997, S. 61].

- **Erhaltung der rechtlichen Selbstständigkeit**
Sämtliche beteiligte Kooperationspartner bleiben als eigenständige juristische Personen bestehen und behalten in allen Bereichen ihre rechtliche Selbstständigkeit.
- **Erhaltung der wirtschaftlichen Selbstständigkeit**
Konkrete Merkmale zum Erhalt der wirtschaftlichen Selbstständigkeit sind:
 - Wahrung der Entscheidungsfreiheit der Kooperationspartner als privatwirtschaftliches Unternehmen (bei der Besetzung der Führungsstellen innerhalb der Kooperationspartner).
 - Gleichbleibende Eigentumsverhältnisse aller Beteiligten für die Dauer der partnerschaftlichen Zusammenarbeit.
 - Wiederauflösbarkeit der Kooperation: Alle Kooperationspartner können die Zusammenarbeit einseitig beenden. Ihr Weiterbestehen am Markt als Einzelunternehmen ist davon nicht betroffen.
- **Freiwilligkeit der Zusammenarbeit**
Die Kooperationspartner werden einander nicht vertraglich oder kapitalmäßig über- bzw. untergeordnet.
- **Delegation der Aufgaben**
Die Aufgaben werden gemäß der jeweiligen Stärken auf die Kooperationspartner aufgeteilt.

¹⁵ *Fusion* – Eine Fusion bezeichnet den Zusammenschluss von mindestens zwei rechtlich selbständigen Unternehmen zu einer wirtschaftlichen und rechtlichen Einheit, wobei im Zuge dieses Verschmelzungsvorganges zumindest ein Unternehmen seine rechtliche Selbstständigkeit verliert.

- **Rechtsgrundlage der Zusammenarbeit**

Eine Kooperation wird rechtlich meist durch Verträge bzw. kooperative Abmachungen geschlossen. Eine Zusammenarbeit ohne Kooperationsvertrag ist auch möglich, wenn gemeinsam gestaltete Handlungsanweisungen erkennbar sind.

- **Zahl der Kooperationspartner**

In der Regel schließen sich bei einer Kooperation nur wenige Unternehmen zusammen.

- **Zusammenschlussziele**

Als Wesensmerkmale von Kooperationen sind gemeinsame Ziele (Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, Kosteneinsparung usw.) zu definieren.

Bei der Bildung von Kooperationen zwischen Unternehmen gibt es eine Vielzahl an **Gestaltungsmerkmalen**. Die wichtigsten Gestaltungsmerkmalen, die ebenfalls auf den allgemeinen Grundmerkmalen aufbauen, werden im Folgenden beschrieben [vgl. Wirth u. Baumann, 2001, S. 95-96], [vgl. Killich, 2007, S. 18-21].

- **Intensität einer Kooperation**

Die Intensität einer Kooperation beschreibt den Umfang der partnerschaftlichen Zusammenarbeit. Dabei wird anhand der Anzahl der Anwendungsbereiche, des Grades der Entscheidungsfreiheit oder der Geschäftsbeziehungen unterschieden:

- *geringe Intensität*: unverbindliche Zusammenarbeit, meist nur Lösungsvorschläge oder Erfahrungsaustausch
- *moderate Intensität*: Austausch von Informationen und Ergebnissen bei kooperationsrelevanten Aktivitäten
- *hohe Intensität*: koordiniertes, gemeinschaftliches Vorgehen bei kooperationsrelevanten Aktivitäten

- **Verbindlichkeit einer Kooperation**

Eine Kooperation wird auch dadurch definiert, inwieweit sich die beteiligten Kooperationspartner verpflichtet sind und welche Verbindlichkeiten zwischen ihnen bestehen:

- *lose Kooperation mit geringem Risiko*: mündliche Absprachen, keine vertragliche Abmachung, keine schriftliche Form
- *engere Kooperation mit stärkerem Engagement und definierten Zielen*: vertragliche Abmachung in schriftlicher Form
- *intensive Verbindung bis zur Aufgabe der wirtschaftlichen Selbständigkeit*: kapitalmäßige Verflechtung bis zur Unternehmensübernahme

- **Ausdehnung einer Kooperation**

Die räumliche Ausdehnung einer Kooperation beschreibt den Wirkungsbereich der partnerschaftlichen Zusammenarbeit:

- *lokale Kooperation*: begrenzte, in unmittelbarer Nähe (im selben Industriegebiet, in derselben Stadt) angesiedelte Kooperationspartner
- *regionale Kooperation*: in der näheren Umgebung (im selben Landkreis, im selben Bundesland) angesiedelte Kooperationspartner
- *nationale Kooperation*: innerhalb des selben Staates (in einem benachbarten Bundesland) angesiedelte Kooperationspartner
- *internationale Kooperation*: globale Beziehung mit Kooperationspartnern verschiedener Staaten (beispielsweise innerhalb Europas oder in Nord- und Südamerika)

- **Dauer einer Kooperation**

Die Dauer einer Kooperation kann sehr unterschiedlich sein und hängt oftmals von der Stabilität einer Beziehung ab:

- *temporäre Kooperation*: kurzfristige, zeitlich begrenzte Kooperationsbeziehungen
- *permanente Kooperation*: dauerhafte, zeitlich unbegrenzte Kooperationsbeziehungen

- **Zutrittsmöglichkeit**

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, den Zutritt zu einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit zu reglementieren:

- *offene Kooperation*: freier Zutritt in eine Kooperationsbeziehung
- *geschlossene Kooperation*: Zutritt nur durch vorherige Aufnahme in eine Kooperationsbeziehung

- **Zielidentität**

Die Gestaltung einer Kooperation ist davon abhängig, inwieweit die verfolgten Ziele der einzelnen Kooperationspartner übereinstimmen oder in welchem Maße die verschiedenen Akteure unterschiedliche Ziele verfolgen:

- *redistributive*¹⁶ *Kooperation*: Durch Zusammenlegung von Ressourcen verfolgen die Kooperationspartner dasselbe Ziel und versuchen Stärken zu bündeln bzw. eigene Schwächen zu beheben.
- *reziproke*¹⁷ *Kooperation*: Durch den Austausch von Leistungen schaffen die Kooperationspartner eine Lösung für ein Problem, beispielsweise finden sie einen optimalen Lieferanten bzw. Dienstleister. Dennoch verfolgen sie unterschiedliche Zielstellungen.

- **Fähigkeit einer Kooperation**

Die Fähigkeit einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit bestimmt den jeweiligen Nutzen, welchen die verschiedenen Kooperationspartner aus einer Kooperationsbeziehung ziehen:

- *synergetische Kooperation*: Die partnerschaftliche Zusammenarbeit bewirkt einen wechselseitigen Nutzen für alle an der Kooperation beteiligten Partner. Durch die Gesamtleistung wird Neues geschaffen, was durch die einzelnen Kooperationspartner allein nicht möglich wäre.
- *additive*¹⁸ *Kooperation*: Die Kooperation bewirkt durch die Zusammenfassung einzelner Prozesse der beteiligten Akteure einen optimierenden Effekt des Gesamtablaufes bei allen Kooperationspartnern.

Die Gestaltungsmerkmale „*Macht*“ mit den Ausprägungen *hierarchisch*, *heterarchisch*, *hierarchielos* und „*Struktur*“ mit den Ausprägungen *monolithisch* und *polyzentrisch* sind typische Gestaltungsmerkmale zur Unterscheidung von **Netzwerken**, sodass diese Merkmale in Kapitel 3.2.2.1 detailliert beschrieben werden.

3.1.6 Allgemeines Grundschema von Kooperationen

Aufgrund der vielen Möglichkeiten zur Gestaltung einer **Kooperation** lässt sich nicht jede partnerschaftliche Zusammenarbeit von Unternehmen detailliert beschreiben. Es besteht auch hier immer die Gefahr, nicht alle Einzelheiten hinreichend genau erörtert oder verschiedene Details ganz außer Acht gelassen zu haben. Dies gilt, weil sich jeder einzelne Anwendungsfall einer Kooperation unterscheidet und auf zahlreichen Kriterien und Merkmalen basiert.

Einen guten Überblick zu Kooperationen bietet wiederum eine schematische Zusammenfassung mit Hilfe des morphologischen Kastens, in den sämtliche Kriterien und Merkmale mit ihren jeweiligen

¹⁶ *redistributiv* – von lat. *distributivus* – dt. verteilend; Das Adjektiv „*distributiv*“ bezeichnet eine sich wiederholende Verteilung; hier: Unter „*redistributiv*“ wird die Konzentration der notwendigen Mittel für eine erfolgreiche Kooperation verstanden.

¹⁷ *reziprok* – ursprünglich von französ. *réci-proque* – dt. beiderseitig; lat. *reciprocus* – dt. wechselseitig, gegenseitig; Das Adjektiv „*reziprok*“ bezeichnet etwas auf demselben Wege zurückkehrend; hier: Als „*reziprok*“ wird der gegenseitige Austausch von Kompetenzen zur Erfüllung einer Aufgabe bezeichnet.

¹⁸ *additiv* – von engl. *additive* – dt. hinzufügend, aneinanderreihend; Das Adjektiv „*additiv*“ bezeichnet etwas auf hinzugefügt beruhend; hier: Unter „*additiv*“ wird der hinzugewonnene Einzelnutzen durch die Kooperation bezeichnet.

Ausprägungen eingetragen werden. Gleichzeitig lässt diese Darstellung wieder eine Analyse sämtlicher Kombinationsmöglichkeiten der Kriterien und Merkmale zu.

In Abbildung 3.3 sind die Kriterien und Merkmale von Kooperationen mit ihren Ausprägungen dargestellt.

Kriterien/ Merkmale	Ausprägungen			
Grundform	betriebsübergreifend	innerbetrieblich	zwischenbetrieblich	
Bereich	Marktforschung und Marketing	Forschung und Entwicklung		Finanzierung
	Beschaffung und Materialwirtschaft	Produktion	Vertrieb und Service	Personal
Ausrichtung	horizontal	vertikal	diagonal/komplementär	
Art	Interessengemeinschaft/Verbund	Konsortium/Arbeitsgemeinschaft	Virtuelles Unternehmen/Organisation	Strategische Allianz
	Franchising	Supply Chain Management - SCM		Gemeinschaftsunternehmen/Joint Venture
Intensität	gering: unverbindliche Zusammenarbeit/Empfehlungen	moderat: Austausch von Informationen und Ergebnissen	hoch: koordiniertes, gemeinschaftliches Vorgehen	
Verbindlichkeit	lose Kooperation mit geringem Risiko/mündliche Absprachen	engere Kooperation mit stärkerem Engagement und definierten Zielen/vertragliche Abmachung	intensive Kooperation bis zur Aufgabe der wirtschaftlichen Selbstständigkeit/kapitalmäßige Verflechtung bis zur Unternehmensaufgabe	
Ausdehnung	lokal	regional	national	international
Dauer	temporär (kurzfristig)		permanent (dauerhaft)	
Zutrittsmöglichkeit	offene Kooperation: freie Zutrittsmöglichkeit		geschlossene Kooperation: Zutritt nur nach vorheriger Aufnahme	
Zielidentität	redistributive Kooperation: durch Zusammenlegung von Ressourcen		reziproke Kooperation: durch den Austausch von Leistungen	
Fähigkeit	synergetische Kooperation: mit wechselseitigem Nutzen		additive Kooperation: mit optimierendem Effekt	

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Ndouma, 1997, S. 15], [Wirth u. Baumann, 2001, S. 94] und [Becker u. a., 2005, S. 18]

Abbildung 3.3: Allgemeines Grundschema von Kooperationen

3.2 Netzwerke

3.2.1 Definition und Grundmodell eines Netzwerkes

Unter einem **Netzwerk** versteht man im erweiterten Sinn ein System, dessen zugrundeliegende Struktur als mathematischer Graph modelliert werden kann. Der Graph setzt sich dabei aus einer Menge von Elementen (Knoten – Punkten, Positionen) zusammen, die mittels Verbindungen (Kanten – Linien, Beziehungen) untereinander gekoppelt sind. Ein geschlossener Zug aus Knoten und Kanten wird dabei als „*Masche*“ bezeichnet [vgl. Payer, 2008, S. 5].

In Abbildung 3.4 ist ein mathematischer Graph mit der Struktur eines Netzes dargestellt.

Das grundlegende Bild eines Netzwerkes ist ein „*Netz*“ – ein Fischer- oder Spinnennetz –, das sich aus Schnüren oder Spinnfäden zusammensetzt, die zu Knoten geknüpft und miteinander verbunden ihre Wirkung entfalten [vgl. Payer, 2008, S. 5]. Dieses Bild lässt sich auf verschiedene Bereiche über-

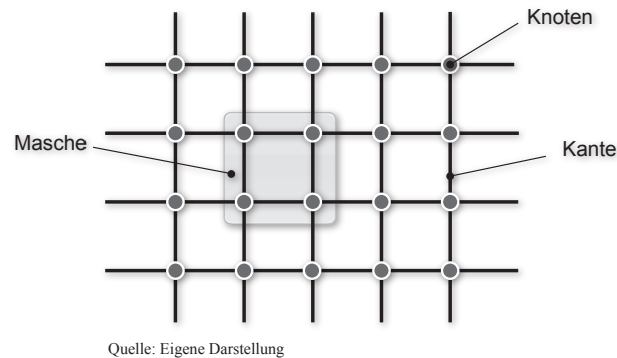


Abbildung 3.4: Grundmodell eines Netzwerkes

tragen. So existieren unter anderen technische Netze, wie beispielsweise Straßennetze, Stromnetze oder Datennetze des Internets, oder auch biologische Netze, wie zum Beispiel molekulare Netzstrukturen.

3.2.2 Abgrenzung von Kooperationen zu Netzwerken

In der Praxis werden die Begriffe **Kooperation** und **Netzwerk** sehr häufig synonym verwendet. Da aber Netzwerke meist auf der Basis von Kooperationen entstehen, repräsentieren Netzwerke, ausgehend von einzelnen (Teil-) Kooperationen, in der Regel eine höhere Stufe der partnerschaftlichen Zusammenarbeit. Aus diesem Grund gelten für Netzwerke auch weitgehend dieselben Merkmale wie für Kooperationen: individueller Nutzen, Wechselseitigkeit, Stärkenorientierung und partielle Koppelung [vgl. Payer, 2008, S. 13].

Obwohl zwischen Netzwerken und Kooperationen gewisse Ähnlichkeiten bestehen, haben Netzwerke bestimmte Merkmale, die sie dennoch voneinander unterscheiden [vgl. Payer, 2008, S. VI (Vorwort)].

3.2.2.1 Merkmale von Netzwerken

Eines der wichtigsten Merkmale von Netzwerken ist, im Gegensatz zu Kooperationen, dass sie auch *bilateral*¹⁹ ausgeführt sein können, da an Netzwerken meist eine größere Anzahl an Akteuren beteiligt sind [vgl. Wojda u. a., 2006, S. 5]. Jedoch gibt es auch Kooperationen, die *tri- bzw. multilateral*²⁰ ausgeführt sind, aber aufgrund der überschaubaren Anzahl an Akteuren noch keine Netzwerke darstellen [vgl. Payer, 2008, S. 14].

Bei der Unterscheidung zwischen Netzwerken und Kooperationen spielen daher die für Netzwerke zusätzlichen Merkmale eine große Rolle [vgl. Morschett, 2005, S. 389-392], [vgl. Payer, 2008, S. 13-14]:

- **Netzwerke sind soziale Infrastrukturen**

Durch lose und selbstorganisierte Koppelungen von Akteuren entstehen Netzwerke aus Beziehungen. Dabei ist die Gesamtheit dieser Beziehungen durch die Offenheit gekennzeichnet, da Netzwerke *keine klaren* Systemgrenzen besitzen. Solche Beziehungsgeflechte sind soziale Infrastrukturen, die von interessierten Akteuren genutzt werden können.

¹⁹ *bilateral* – von lat. bi – dt. zwei; latus – dt. Seite; hier: Es bestehen gegenseitige Beziehungen bzw. beidseitige Kopplungen zwischen zwei Partnern.

²⁰ *tri-/multilateral* – von lat. tri – dt. drei; multus – dt. viel; latus – dt. Seite; hier: Es bestehen gegenseitige Beziehungen bzw. vielseitige Kopplungen mit mehreren Kooperationspartnern.

- **Netzwerke sind Kooperationen höherer Ordnung**

Netzwerke bauen häufig auf bestehenden und bereits aktiven Kooperationen auf bzw. auf einzelnen Akteuren auf, die an Kooperationsbeziehungen mit einem Netzwerkverbund interessiert sind.

- **Netzwerke sind größer als Kooperationen**

An Netzwerken sind im Vergleich zu Kooperationen mehr Akteure beteiligt. Dabei wird anhand der Anzahl der beteiligten Kooperationspartner unterschieden:

- Kleine, übersichtliche Kooperationen mit *weniger als zehn Akteuren* werden in der Regel *nicht* als „Netzwerk“ bezeichnet.
- Kooperationen *ab zehn Akteuren* lassen sich in mehrere einzelne Kooperationen unterteilen. Beziehen sie sich dabei weiterhin auf ihr gemeinsames Handeln, so ist aus einer Kooperation ein Netzwerk entstanden.

Aus Netzwerken können sich allerdings auch einzelne (Teil-) Kooperationen entwickeln, sodass Netzwerke die Vorstufe für intensive Kooperationen sein können.

- **Netzwerke haben eine längerfristige Perspektive**

Durch Netzwerke wird die Möglichkeit geschaffen, mehrere aktive und potenzielle Kooperationen für einen längeren Zeitraum aufeinander zu beziehen und sie gemeinsam handlungsfähig zu machen. Netzwerke sind durch ihre höhere Komplexität und aufgrund ihrer längeren Entwicklungszeit meist längerfristig bis dauerhaft angelegt.

- **Netzwerke können ein Machtgefüge haben**

Innerhalb von Netzwerken besteht häufig ein gewisses Machtgefüge, in dem die einzelnen Akteure agieren. Dieses Gefüge definiert die Fähigkeit der Akteure, die Aktivitäten innerhalb eines Netzwerkes zu beeinflussen, um die entsprechenden Netzwerkziele zu erreichen. Anhand der Weisungsbefugnis wird dabei wie folgt unterschieden:

- *hierarchisches*²¹ *Machtgefüge*: einseitige Weisungsbefugnis eines „zentralen Akteurs“, der dauerhaft eine Führungsrolle einnimmt.
- *heterarchisches*²² *Machtgefüge*: wechselnde Weisungsbefugnis zwischen den verschiedenen Akteuren, die zeitweise eine Führungsrolle einnehmen.
- *hierarchielos*: ohne Weisungsbefugnis der einzelnen Akteure, somit Gleichberechtigung aller Akteure.

- **Netzwerke haben eine Struktur**

Netzwerke haben für den Aufbau und die Führung des Netzwerkes bzw. der beteiligten Akteure organisatorische Strukturen.

- *monolithischer*²³ *Aufbau*: Ein Akteur steht im Zentrum eines Netzwerkes.
- *polyzentrischer*²⁴ *Aufbau*: Die Zentren sind in einem Netzwerk verteilt. Dies gilt, wenn einzelne (Teil-) Kooperationen innerhalb eines Netzwerkes erfolgen.

²¹ *Hierarchie – hierarchisch* – Unter dem Begriff Hierarchie wird eine pyramidenförmige Rangfolge mit Über- und Unterordnungsverhältnissen verstanden; hier: Der Netzwerkaufbau entspricht einer stufenmäßig aufgebauten und streng gegliederten Ordnung mit klarer, von einem Akteur ausgehenden Weisungsbefugnis [vgl. Kraif, 2006, S. 404].

²² *Heterogenität – heterarchisch* – Als Heterogenität wird die Ungleichartigkeit, Verschiedenartigkeit und Uneinheitlichkeit eines Gegenstandes, Sache bzw. einer Ordnung verstanden; hier: Der Netzwerkaufbau entspricht ebenso einer stufenmäßig aufgebauten und streng gegliederten Ordnung, aber mit wechselnder, von verschiedenen Akteuren ausgehenden Weisungsbefugnis [vgl. Kraif, 2006, S. 400-401].

²³ *Monolith – monolithisch* – Als Monolith wird eine Säule bzw. ein Denkmal bezeichnet, welches aus einem einzigen Steinblock besteht; hier: Der Aufbau des Netzwerkes entspricht einer fugenlosen, untrennbaren Einheit von einzelnen Akteuren, bei welcher ein Akteur eine zentrale Rolle übernimmt [vgl. Kraif, 2006, S. 674].

²⁴ *Polyzentrismus – polyzentrisch* – Unter Polyzentrismus wird der Zustand eines Machtbereichs verstanden, in dem die Vorherrschaft nicht mehr nur von einer Stelle ausgeübt wird, sondern von mehreren Machtzentren ausgeht; hier: Der Netzwerkaufbau ist so gestaltet, dass die einzelnen Akteure zu mehreren Zentren gehören bzw. von mehreren Zentren koordiniert und geleitet werden [vgl. Kraif, 2006, S. 820].

In Tabelle 3.2 sind die wesentlichen Merkmale von Netzwerken im Vergleich zu Kooperationen dargestellt.

Tabelle 3.2: Unterschiede zwischen Netzwerken und Kooperationen

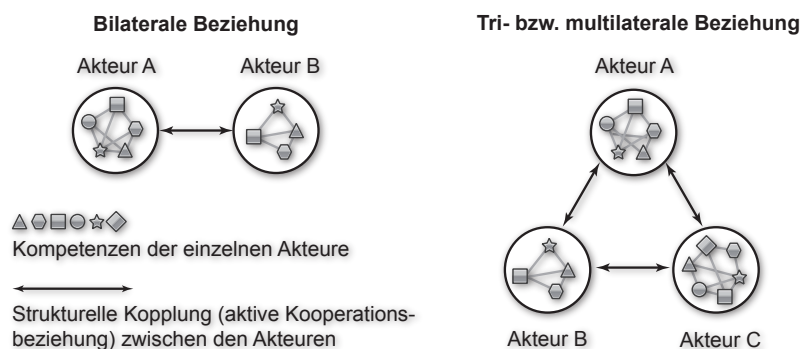
Netzwerk	Kooperation
<ul style="list-style-type: none"> • Soziale Infrastruktur ohne Systemgrenzen • Fließender Übergang zwischen innen und außen • Hohe Offenheit • Koppelung von Kontakten (Erreichbarkeit) • Hohes Maß an Unverbindlichkeit • Mehrere potenzielle Kooperationen in unterschiedlichen Konstellationen • Unüberschaubare Anzahl an Akteuren • Längerfristig bis dauerhaft 	<ul style="list-style-type: none"> • Soziales System mit Systemgrenzen • Klare Grenzen zwischen innen und außen • Schwache bis starke Geschlossenheit • Koppelung von Akteuren (Mitgliedschaft) • Mittleres Maß an Verbindlichkeit • Eine gemeinsame Kooperation • Überschaubare Anzahl an Akteuren • Kurz- bis mittelfristig, aber auch längerfristig bis dauerhaft

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Payer, 2008, S. 14]

3.2.2.2 Strukturen von Netzwerken

Ausgehend vom Grundmodell einer *bilateralen Kooperationsbeziehung* (vgl. Kapitel 3.1), bei der die Akteure direkt kooperieren und unmittelbar auf das Verhalten des Kooperationspartners reagieren, erhöht sich die Komplexität einer Kooperation, sobald *tri- bzw. multilaterale Beziehungen* stattfinden [vgl. Morschett, 2005, S. 390]. Aufgrund der Anzahl der Akteure und der daraus resultierenden Summe aller Kooperationsbeziehungen eröffnen sich deshalb mehr Handlungsmöglichkeiten für die partnerschaftliche Zusammenarbeit, die auch asymmetrische Informations- und Machtbeziehungen zulassen.

In Abbildung 3.5 sind Kooperationsbeziehungen in Abhängigkeit von der Anzahl der Akteure dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Friese, 1998, S. 147] und [Kutschker, 1994, S. 126]

Abbildung 3.5: Kooperationen nach der Anzahl der Beziehungen

Bei zunehmender Anzahl an Akteuren und gleichzeitig zunehmender Anzahl an Kooperationsbeziehungen wird zwischen **einfachen** und **komplexen Netzwerken** unterschieden.

- Bei *einfachen Netzwerken* ist das Beziehungsgeflecht meist sternförmig aufgebaut. Häufig entwickeln sie sich von einem zentralen Akteur aus, der mehrere gleichartige Beziehungen unterhält und das Verhalten der Kooperationspartner zentral koordiniert [vgl. Kutschker, 1994, S. 128].

- Als *komplexe Netzwerke* werden kooperative Beziehungen dann bezeichnet, wenn viele multilaterale Kooperationsbeziehungen zwischen mehreren Akteuren bestehen und die potenziellen Beziehungen je nach Bedarf verwirklicht werden können [vgl. Kutschker, 1994, S. 128-129].

In Abbildung 3.6 sind ein einfaches und ein komplexes Netzwerk dargestellt.

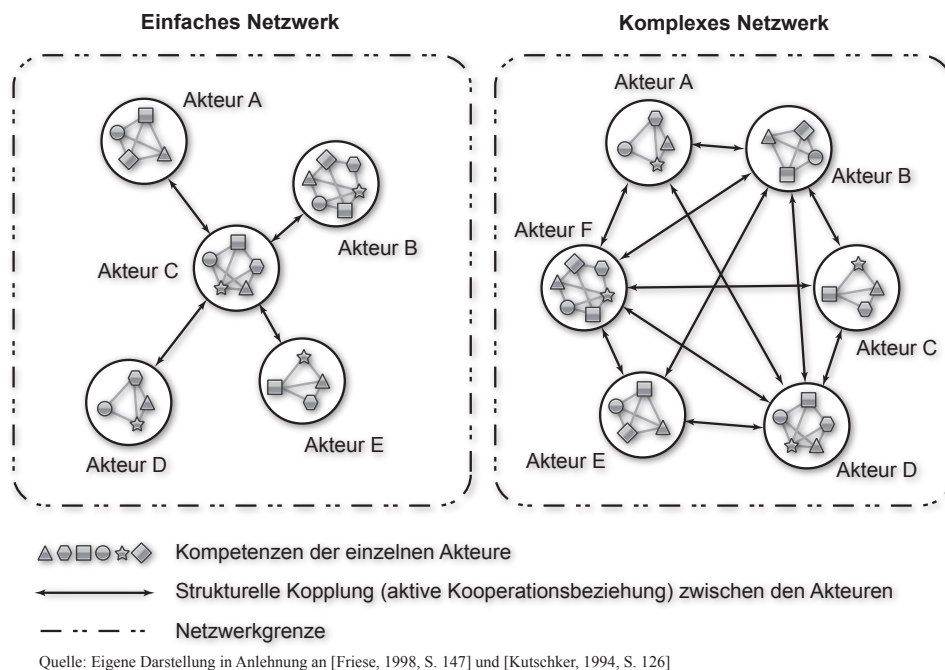


Abbildung 3.6: Einfaches und komplexes Netzwerk

Prinzipiell lassen sich Netzwerke wie Kooperationen auch anhand ihrer Merkmale systematisieren. Durch die Kombination der *Merkmale von Kooperationen* und der *Merkmale von Netzwerken* bilden sich verschiedene Ausprägungsmöglichkeiten von Netzwerken heraus [vgl. Wirth u. Baumann, 2001, S. 96]. Sie unterscheiden sich durch die **Machtverteilung** und die daraus entstehende organisatorische *Struktur*. Üblicherweise wird dabei zwischen **hierarchisch-monolithischen** und **heterarchisch-polyzentrischen Netzwerken** differenziert.

- Ein *hierarchisch-monolithisches Netzwerk* wird meist von einem an der Spitze des Netzwerkes stehenden „fokalen“²⁵ Akteur koordiniert und geleitet [vgl. Wirth u. Baumann, 2001, S. 93], [vgl. Payer, 2008, S. 16]. Dieser fokale Akteur hat großen Einfluss auf das Netzwerk und gibt die strategische Ausrichtung zur Erschließung der Netzwerkpotenziale vor. Zudem koordiniert der fokale Akteur die Aufgabenverteilung im Netzwerk sowie die Beziehungen der Netzwerkteilnehmer untereinander [vgl. Bruns-Vietor, 2004, S. 96], [vgl. Payer, 2008, S. 16].

Die Abhängigkeit der Netzwerkteilnehmer und die asymmetrische Kompetenz- und Machtverteilung zugunsten des fokalen Akteurs wird jedoch durch zwei wesentliche Aspekte ausgeglichen [vgl. Bruns-Vietor, 2004, S. 96]:

- Die Beziehungen zwischen den Akteuren sind von gegenseitiger Abhängigkeit geprägt, die oft vertraglich geregelt wird. Dabei wird die Zusammenarbeit so gestaltet, dass die erreichten Vorteile nicht nur dem fokalen, sondern auch den anderen Netzwerkakteuren zugute kommen (win-win-Beziehung).
- Die einzelnen Akteure im Netzwerk behalten ihre Unabhängigkeit, indem sie auch Beziehungen zu Dritten pflegen und so nicht ganz vom fokalen Akteur abhängig sind.

²⁵ *fokal* – Das Adjektiv „fokal“ bezeichnet einen Punkt im Fokus, Zentrum; hier: Der maßgebliche, zentrale Akteur des Netzwerkes.

- Ein *heterarchisch-polyzentrisches Kooperationsnetzwerk* ist durch homogene gegenseitige Abhängigkeiten der beteiligten Akteure gekennzeichnet. Dabei bleiben die Kopplungen nur so lange bestehen, bis ein bestimmtes Problem gelöst ist [vgl. Wirth u. Baumann, 2001, S. 93]. Die gemeinsame Leistungserbringung erfolgt in einer projektähnlichen Organisation. Die Koordinations- und Entscheidungskompetenzen werden auf die einzelnen Akteure verteilt, jeder Akteur kann seine eigenen Kompetenzen und Ressourcen einbringen [vgl. Wirth u. Baumann, 2001, S. 93-94], [vgl. Bruns-Vietor, 2004, S. 97].

Charakteristische Merkmale eines heterarchisch-polyzentrischen Kooperationsnetzwerkes sind [vgl. Bruns-Vietor, 2004, S. 97], [vgl. Fröhner u. a., 2004, S. 10]:

- Rechtliche und wirtschaftliche Selbstständigkeit der Akteure
- Zeitlich befristete, projektähnliche Zusammenarbeit (wechselnde Kooperationspartner möglich)
- Verzicht auf detaillierte Verträge und ein zentrales Management
- Beliebige räumliche Verteilung der Akteure
- Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien zur Arbeitsunterstützung
- Gemeinsames Handeln und einheitlicher Auftritt gegenüber Dritten

In Abbildung 3.7 sind ein hierarchisch-monolithisches und ein heterarchisch-polyzentrisches Netzwerk dargestellt.

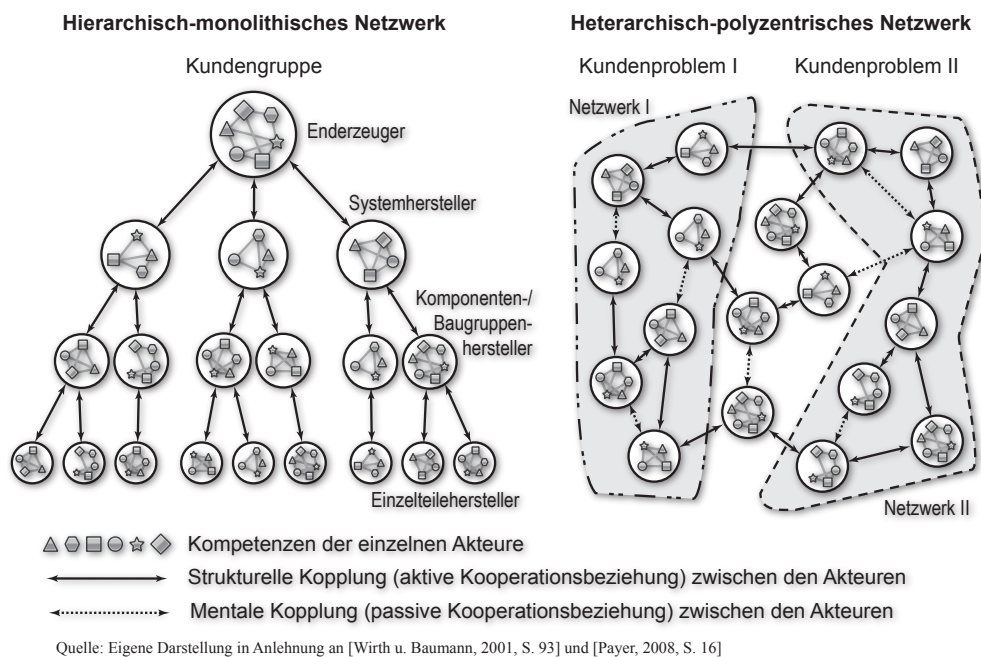


Abbildung 3.7: Strukturen von Netzwerken

3.2.3 Arten von Netzwerken

Aufgrund der Bedeutungsvielfalt von Netzwerken und der Unschärfe des Netzwerkbegriffes muss ein Netzwerk immer im jeweiligen Kontext betrachtet werden. Arbeitet beispielsweise eine größere Anzahl an Unternehmen zielgerichtet und kooperativ zusammen, ist das Netzwerk als Gesamtsystem von mehreren kooperativen Beziehungen zu verstehen [vgl. Rupprecht-Däullary, 1994, S. 16]. Die beteiligten Unternehmen können auch miteinander konkurrieren und die Nutzung von Synergieeffekten nur in bestimmten Unternehmensbereichen beabsichtigen. Ein Netzwerk kann somit als eine Art „Sammelbecken oder Raum“ für die Entstehung neuer kooperativer Beziehungen verstanden werden [vgl. Payer, 2008, S. 12-13].

In Abbildung 3.8 ist ein Netzwerk mit fünf aktiven und drei passiven Unternehmen dargestellt.

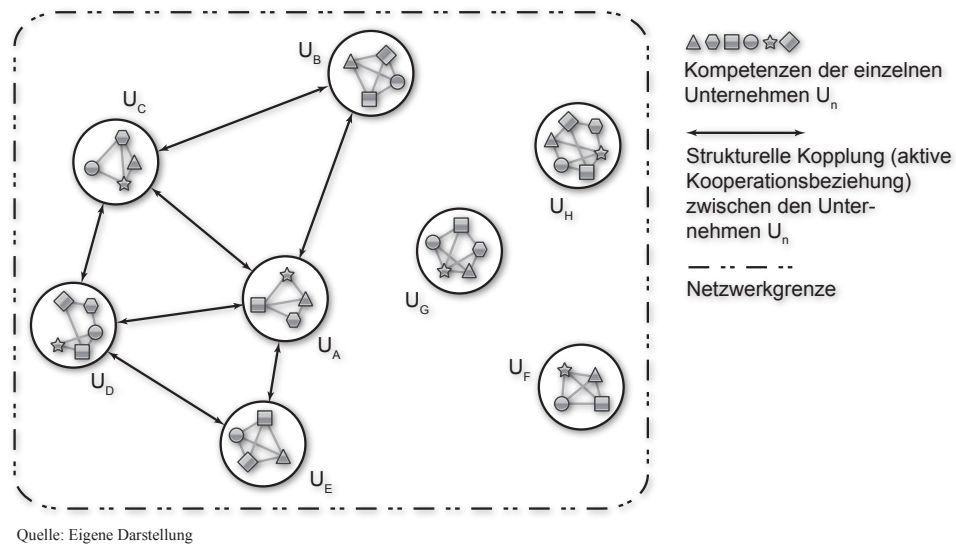


Abbildung 3.8: Unternehmensnetzwerk mit aktiven und passiven Akteuren

3.2.3.1 Strategische Unternehmensnetzwerke

Ein **strategisches Unternehmensnetzwerk** besteht, wenn ein hierarchisch-monolithisches Netzwerk von einem oder mehreren „fokalen“ Unternehmen strategisch geführt und koordiniert wird [vgl. Sydow, 2005, S. 80-81]. Innerhalb der hierarchisch-monolithischen Netzwerkstruktur existieren meist verschiedene (Teil-) Netzwerke, in denen wiederum einzelne Akteure die strategische Führung übernehmen [vgl. Morschett, 2005, S. 399].

Die fokalen Unternehmen bestimmen die Art des Netzwerkes und die inhaltliche Strategie. Sie legen beispielsweise fest, wie die Kooperationsbeziehungen ausgestaltet werden sollen [vgl. Zentes u. a., 2004, S. 199]. Die einzelnen Akteure sind dabei eng an die fokalen Unternehmen gebunden, wobei sie ihre Leistungen auch außerhalb des Netzwerkes anbieten, um sich ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten [vgl. Schenk u. Wirth, 2004, S. 355].

Der Zweck eines strategischen Netzwerkes kann beispielsweise sein, einen relativ stabilen, gut vorhersehbaren Markt zu bedienen, indem die spezialisierten Kompetenzen und Ressourcen entlang der Wertschöpfungskette miteinander gekoppelt werden [vgl. Schenk u. Wirth, 2004, S. 355].

3.2.3.2 Regionale Unternehmensnetzwerke

Ein **regionales Unternehmensnetzwerk** basiert auf einer räumlichen Ansammlung, wobei in Bezug auf die geographische Ausbreitung meist eine Einschränkung getroffen wird. Durch die räumliche Nähe entstehen beispielsweise aus spezialisierten KMU regionale Unternehmenskooperationen und -netzwerke mit einer gemeinsamen Identität, die sich positiv auf den Wissenstransfer zwischen den beteiligten Partnern auswirkt. Die regionalen Unternehmensnetzwerke bestehen dabei meist aus losen Beziehungen, die bei Bedarf aktiviert werden können [vgl. Wojda u. a., 2006, S. 6].

Charakteristisch sind eine hohe Flexibilität, hohe Kernkompetenz und ein geringer Verwaltungsaufwand. Dadurch bietet sich die Chance, dass die netzwerk beteiligten Unternehmen ihre Kompetenzen und Ressourcen unternehmensübergreifend nutzen, und dabei die eigene Wettbewerbsfähigkeit stärken können [vgl. Schenk u. Wirth, 2004, S. 356].

Die infrastrukturellen Vorteile eines regionalen Unternehmensnetzwerkes sind gleichberechtigte Partnerschaften, ein ausgewogenes Qualifikationsniveau, kurze Transport- und Kommunikationswege und somit geringere Transaktionskosten [vgl. Schenk u. Wirth, 2004, S. 356].

3.2.3.3 Virtuelle Unternehmensnetzwerke

Die **virtuellen Unternehmensnetzwerke** sind ein kooperativer Zusammenschluss von Unternehmen sowie Institutionen und Personen auf informeller Ebene. Sie vernetzen sich mit ihren spezifischen Kompetenzen und Ressourcen und arbeiten temporär zusammen, um Probleme zu lösen oder Kundenbedürfnisse zu befriedigen. Dabei treten die beteiligten Unternehmen allerdings *nicht* mit eigenem Namen auf, sondern sind „lediglich“ Teil des virtuellen Unternehmensnetzwerkes [vgl. Wirth u. Baumann, 2001, S. 151] nach [vgl. Wolter u. a., 1998, S. 7-8].

Falls ein gemeinsames Geschäftsverständnis vorliegt, entstehen mentale und strukturelle Kopplungen. Die beteiligten Akteure sind dabei gleichberechtigt und verzichten auf die Institutionalisierung von Managementfunktionen. Sie setzen moderne Informations- und Kommunikationstechnologien ein, um räumliche und zeitliche Begrenzungen zu überwinden [vgl. Schenk u. Wirth, 2004, S. 385].

Virtuelle Unternehmensnetzwerke sind sehr flexibel und wandlungsfähig; sie haben eine dynamische Struktur und bündeln als Problemlösungsgemeinschaft ihre Fähigkeiten über die Unternehmensgrenzen hinweg.

3.2.3.4 Wirtschaftskluster

Als **Wirtschaftskluster** werden Netzwerke aus Unternehmen und unterstützend-zugehörigen Institutionen, wie beispielsweise Universitäten, Forschungseinrichtungen, Wirtschaftsverbände usw., bezeichnet, wenn sie geographisch konzentriert sind und sich in räumlicher Nähe zueinander befinden. Deren Aktivitäten finden dabei meistens innerhalb einer bestimmten Branche statt [vgl. Morschett, 2005, S. 398]. Durch diese partnerschaftliche Zusammenarbeit entsteht ein Wachstumspol, der Zulieferer und spezialisierte Dienstleister der entsprechenden Branche anzieht und der durch Innovationsstätigkeiten gekennzeichnet ist [vgl. Schramm-Klein, 2005, S. 534-539], um Wettbewerbsvorteile für alle beteiligten Unternehmen zu schaffen [vgl. Wojda u. a., 2006, S. 6].

3.2.4 Allgemeines Grundschema von Netzwerken

Ebenso wie Kooperationen lassen sich **Netzwerke** aufgrund der vielen Gestaltungsmöglichkeiten nicht so einfach beschreiben. Auch hier besteht die Gefahr, nicht alle Einzelheiten hinreichend genau erörtert oder verschiedene Details vernachlässigt zu haben.

Die schematische Zusammenfassung der Kriterien und Merkmale liefert dazu ebenfalls einen guten Überblick. Gleichzeitig lässt das Schema wieder eine Analyse sämtlicher Kombinationsmöglichkeiten der Kriterien und Merkmalen von Netzwerken zu.

In Abbildung 3.9 sind die Kriterien und Merkmale von Netzwerken mit ihren jeweiligen Ausprägungen dargestellt.

Kriterium/ Merkmal	Ausprägung			
Kopplung	bilateral		trilateral/multilateral	
Partneranzahl	geringe Anzahl (2 Partner)	überschaubare Anzahl (2-10 Partner)	größere Anzahl (mehr als 10 Partner)	
Macht	hierarchisch	heterarchisch	hierarchielos	
Aufbau	monolithisch		polyzentrisch	
Beziehungs- geflecht	einfach		komplex	
Ausdehnung	lokal	regional	national	international

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Wirth u. Baumann, 2001, S. 94] und [Becker u. a., 2007, S. 18]

Abbildung 3.9: Allgemeines Grundscheema von Netzwerken

3.3 Bewertung der Erkenntnisse

Die theoretischen Grundlagen der partnerschaftlichen Zusammenarbeit zeigen ganz allgemein, welche Grundformen von Kooperationen eingenommen werden können und zu welchen Bedingungen sie sich dabei vollziehen. Gleichzeitig geben sie Aufschluss darüber, in welchen Anwendungsbereichen kooperative Beziehungen bisher stattfinden. Es lässt sich zudem feststellen, dass Kooperationen auch in mehreren Anwendungsbereichen gleichzeitig vonstatten gehen können. Systematisiert werden Kooperationen anhand ihrer Ausrichtung und nach ihrer Art. Dazu erfolgt eine Abgrenzung mit Hilfe von Kriterien und Merkmalen, allerdings treffen nicht alle Kriterien und Merkmale für jede Kooperation gleichermaßen zu.

Des Weiteren findet durch die theoretischen Grundlagen der partnerschaftlichen Zusammenarbeit eine allgemeine Abgrenzung zwischen Kooperationen und Netzwerken statt. Dabei unterscheiden sich Netzwerke von Kooperationen hauptsächlich durch die Anzahl der beteiligten Partner. Darüber hinaus unterscheiden sich Netzwerken auch durch Machtverhältnisse und die daraus entstehende organisatorische Struktur. In Abhängigkeit der beabsichtigten Ziele lassen sich Netzwerke ebenfalls nach verschiedenen Arten einteilen. Dabei ist erkennbar, dass Netzwerke häufig auf bestehenden und bereits aktiven Kooperationen aufbauen oder die Vorstufe für intensive Kooperationsbeziehungen sind.

In Bezug auf die partnerschaftliche Zusammenarbeit von Unternehmen zum Zweck der betrieblichen Instandhaltung liefern die theoretischen Grundlagen *keine konkreten* Hinweise. Dass die betriebliche Instandhaltung dennoch Gegenstand kooperativer Beziehungen *ist* und dies für die Unternehmen eine große Rolle in der betrieblichen Praxis spielt, wird dabei *nicht* erwähnt. Im Rahmen dieser Arbeit findet daher eine Übertragung der allgemeinen Gestaltungskriterien und Merkmale kooperativer Beziehungen auf die Gegebenheiten der betrieblichen Instandhaltung statt. Im Anschluss können dann verschiedene Vorgehensweisen der kooperativen Instandhaltung identifiziert werden, sodass eine adäquate Lösung als spezifische Vorgehensweise für die betriebliche Instandhaltung von technischen Einheiten bei KMU abgeleitet werden kann.

3.4 Kooperative Instandhaltung

Die **kooperative Instandhaltung** bezeichnet die partnerschaftliche Zusammenarbeit bei der betrieblichen Instandhaltung, unabhängig, mit welchen Akteuren und in welcher Intensität die entsprechenden Kooperationsbeziehungen erfolgen. In der Regel findet dabei die Zusammenarbeit mit den

Herstellern der technischen Einheiten und mit Instandhaltungsdienstleistern statt. In Einzelfällen können dies auch lokale Handwerksbetriebe oder ausgegliederte Instandhaltungsbereiche von Unternehmen sein.

3.4.1 Gestaltungskriterien kooperativer Instandhaltung

Die **kooperative Instandhaltung** vereint die Gestaltungskriterien von Kooperationen (vgl. 3.1.6), Netzwerken (vgl. 3.2.4) und der Instandhaltung (vgl. 2.3.4). Die allgemeinen Kriterien und Merkmale werden dabei „speziell“ auf die *partnerschaftliche Zusammenarbeit bei der betrieblichen Instandhaltung* abgestimmt. Verschiedene Gestaltungskriterien, die für die kooperative Instandhaltung eine untergeordnete Rolle spielen oder keinen signifikanten Unterschied aufweisen, finden dabei keine Berücksichtigung.

Im Folgenden werden die allgemeinen Kriterien und Merkmale von Kooperationen und Netzwerken übernommen und auf die Instandhaltung mit ihren jeweiligen Ausprägungen übertragen. Dadurch entstehen die strukturellen Grundlagen für die Bestimmung der *kooperativen Instandhaltung*.

- Die **Grundform** der kooperativen Instandhaltung beschreibt, wie und zu welchen Bedingungen sich die partnerschaftliche Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure bei der Instandhaltung von technischen Einheiten vollzieht.
 - Eine *überbetriebliche Instandhaltungskooperation* ist dadurch bestimmt, dass vormals ausgegliederte und jetzt rechtlich selbständige Instandhaltungsunternehmen nun Instandhaltungsaufgaben für bestimmte Unternehmensgruppen oder Branchen übernehmen.
 - Die *innerbetriebliche Instandhaltungskooperation* definiert sich dadurch, dass Instandhaltungsmitarbeiter eines Unternehmensbereichs auch die Instandhaltung in anderen Unternehmensbereichen eines Großunternehmens (Konzern) wahrnehmen.
 - Eine *zwischenbetriebliche Instandhaltungskooperation* ist dadurch gekennzeichnet, dass Instandhaltungsmitarbeiter eines rechtlich selbständigen Unternehmens in anderen Unternehmen ebenfalls Instandhaltungsaufgaben durchführen.
- Die **Ausrichtung** der kooperativen Instandhaltung gibt vor, auf welcher Wertschöpfungsstufe die jeweiligen Akteure zusammenarbeiten und inwieweit sie möglicherweise alle derselben oder gegebenenfalls verschiedenen Branchen angehören.
 - Eine *horizontale Instandhaltungskooperation* findet Anwendung, wenn Unternehmen auf gleicher Wertschöpfungsstufe im Bereich der Instandhaltung zusammenarbeiten. Häufig verfügen gerade diese Unternehmen über ähnliche technische Einheiten, so dass eine partnerschaftliche Zusammenarbeit für die unternehmensübergreifende Instandhaltung ein sinnvolles Vorgehen sein kann.
 - Die *vertikale Instandhaltungskooperation* bezieht sich auf Unternehmen aus vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen (Zulieferunternehmen und Finalproduzenten), die bei der Instandhaltung kooperieren. Verfügen die Unternehmen ebenfalls über ähnliche technische Einheiten, so kann auch hier eine partnerschaftliche Zusammenarbeit zur gemeinsamen Instandhaltung durchaus sinnvoll sein.
 - Eine *diagonale Instandhaltungskooperation* betrifft Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen, die eine „komplementäre Kooperation“ zur Instandhaltung bilden. Hierin ist die Zusammenarbeit mit den Herstellern der technischen Einheiten oder mit Instandhaltungsdienstleistern zu verstehen.
- Die **Intensität** einer Instandhaltungskooperation gibt an, in welchem Umfang die jeweiligen Kooperationspartner im Bereich der Instandhaltung partnerschaftlich zusammenarbeiten.
 - Bei *geringer Intensität* spricht man von einer unverbindlichen Zusammenarbeit, bei der sich die Akteure ihre Instandhaltungsbereiche gegenseitig vorstellen und gegebenenfalls Empfehlungen aussprechen.

- Eine *moderate Intensität* liegt vor, wenn ein Austausch von Informationen und Ergebnissen stattfindet und dies dazu führt, dass bestimmte Sachverhalte verändert werden.
- Bei *hoher Intensität* findet ein koordiniertes, gemeinschaftliches Vorgehen bei der Instandhaltung statt, welches sich auch auf die gemeinsame Nutzung von Instandhaltungsressourcen bezieht.

Während eine unverbindliche Zusammenarbeit und ein Austausch von Informationen einen netzwerkartigen Charakter aufweisen, so bezieht sich ein koordiniertes gemeinschaftliches Vorgehen eher auf eine Kooperation.

- Der Grad der **Verbindlichkeit** innerhalb einer Instandhaltungskooperation besagt, wie stark sich die jeweiligen Partner gegenseitig verpflichten und welche Abhängigkeiten sich im Bereich der Instandhaltung daraus ergeben.
 - Eine *lose Instandhaltungskooperation* besteht aus mündlichen Absprachen, die vertraglich nicht festgehalten werden und nur ein geringes Risiko darstellen.
 - Bei *enger Instandhaltungskooperation* erfolgt ein stärkeres Engagement mit definierten Zielen, die in einem Kooperationsvertrag schriftlich festgehalten werden.
 - Eine *intensive Instandhaltungskooperation* impliziert kapitalmäßige Verflechtungen, gemeinsame Finanzierung und Nutzung von Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. zur Instandhaltung.
- Die räumliche **Ausdehnung** einer Instandhaltungskooperation beschreibt in Bezug auf den Standort der Betreiberunternehmen von technischen Einheiten den räumlichen Wirkungsbereich der jeweiligen Instandhaltungsakteure [vgl. Wirth u. Baumann, 2001, S. 95], [vgl. Killich, 2007, S. 18-19].
 - Eine *lokale Kooperationsbeziehung* zur Instandhaltung findet in einem örtlich ausgedehnten Bereich im Radius von etwa 25 km statt.
 - Von *regionalen Kooperationsbeziehungen* der Instandhaltung spricht man in gebietsmäßig ausgedehnten Bereichen bis zu einer Entfernung von zirka 80 km.
 - Eine *nationale Kooperationsbeziehung* zur Instandhaltung vollzieht sich landesweit bis zu Entfernungen von mehreren hundert Kilometern.
 - Bei *internationalen Kooperationsbeziehungen* der Instandhaltung erfolgen grenzüberschreitende Aktivitäten bis zu Entfernungen von mehreren tausend Kilometern.

Aufgrund ihrer vergleichsweise kurzen Reaktionszeiten sind in den meisten Fällen lokale und regionale Kooperationsbeziehungen sinnvoll. Aber auch nationale und internationale Kooperationen können nicht gänzlich ausgeschlossen werden, da es nicht immer möglich ist, einen adäquaten Partner mit den notwendigen Kompetenzen in der näheren Umgebung zu finden.

- Die **Dauer** einer Instandhaltungskooperation bezeichnet den zeitlichen Ablauf der Zusammenarbeit, der sehr unterschiedlich sein kann und häufig von den Instandhaltungsaufgaben abhängt.
 - Eine *temporäre Instandhaltungskooperation* weist einen kurzfristigen und zeitlich begrenzten, projektähnlichen Verlauf der Instandhaltung auf.
 - Bei einer *permanenten Instandhaltungskooperation* erfolgt eine dauerhafte und zeitlich unbegrenzte Zusammenarbeit der Akteure.
- Die **Zutrittsmöglichkeit** in eine Instandhaltungskooperation legt fest, inwieweit und unter welchen Bedingungen eine Beteiligung an der partnerschaftlichen Zusammenarbeit bei der betrieblichen Instandhaltung möglich ist.
 - Bei einer *offenen Instandhaltungskooperation* bestehen freie Zutrittsmöglichkeiten für alle interessierten Akteure zur kooperativen Zusammenarbeit im Bereich der Instandhaltung.
 - Eine *geschlossene Instandhaltungskooperation* erfordert eine vorherige Aufnahme zur partnerschaftlichen Zusammenarbeit bei der Instandhaltung.

Da in einer offenen Instandhaltungskooperation die Mitglieder häufiger wechseln und die Grenzen der Zugehörigkeit nicht genau definiert sind, weist sie meist einen netzwerkartigen Charakter auf.

- Die **Zielidentität** der kooperativen Instandhaltung hängt eng mit der Ausrichtung der Kooperation zusammen. Während bei horizontalen und vertikalen Kooperationen die Ziele oft übereinstimmen, können bei diagonalen Kooperationen die Ziele der einzelnen Partner häufig unterschiedlich.
 - Bei *redistributiven Kooperationen* verfolgen die Kooperationspartner dieselben Instandhaltungsziele, indem sie beispielsweise ihre Instandhaltungsressourcen zusammenlegen.
 - In *reziproken Kooperationen* haben die Kooperationspartner unterschiedliche Zielsetzungen. Sie tauschen Instandhaltungsleistungen nur dann aus, wenn ein Partner die fehlenden Kompetenzen nicht selbst aufbringen kann.

Reziproke Instandhaltungskooperationen haben meist eine diagonale Ausrichtung, da eine Zusammenarbeit nur dann stattfindet, wenn ein Partnerunternehmen eine bestimmte Instandhaltungsleistung erbringen kann.

- Die **Fähigkeit** einer Instandhaltungskooperation wird dadurch beschrieben, inwieweit die Kooperationspartner bestimmte Vorteile durch die partnerschaftliche Zusammenarbeit im Instandhaltungsbereich erzielen.
 - Bei *synergetischen Kooperationen* wird ein wechselseitiger Nutzen für alle Kooperationspartner erzielt. Durch die Zusammenarbeit können Instandhaltungsaufgaben übernommen werden, die bisher nicht durchgeführt werden konnten.
 - In *additiven Kooperationen* bewirkt die Zusammenfassung einzelner Instandhaltungsprozessen einen optimierenden Effekt, der entsprechende Verbesserungen im Gesamtablauf der Instandhaltung ermöglichen kann.

Die Zusammenarbeit mit den Herstellern von technischen Einheiten und Instandhaltungsdienstleistern kann als synergetische Kooperation betrachtet werden, da einerseits die Anbieter von Instandhaltungsleistungen gute Gewinne erzielen, andererseits die Betreiber von technischen Einheiten beispielsweise Kostenvorteile erlangen können bzw. müssen.

- Die **Kopplung** einer kooperativen Instandhaltung beschreibt, wie die Zusammenarbeit zwischen den Partnern erfolgt. Bei zweiseitigen Kooperationsbeziehungen koordinieren sich die Akteure selbst und reagieren auf Ereignisse; bei mehrseitigen Beziehungen erfolgt eine gemeinsame Abstimmung zu nachfolgenden Aktivitäten.
 - Bei einer *bilateralen Kopplung* reagiert ein Kooperationspartner auf ein Ereignis die Instandhaltung betreffend, ohne vorheriger Planung der genauen Aktivitäten mit dem Partner.
 - Bei *tri- und multilateralen Kopplung* planen die Kooperationspartner das gemeinsame Handeln hinreichend genau und koordinieren dann das kooperative Vorgehen bei der Instandhaltung.
- Die **Anzahl der Partner** einer Instandhaltungskooperation bestimmt, ob es sich bei einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit im Bereich der Instandhaltung um eine Kooperation mit (Teil-) Kooperationen oder eher um ein Netzwerk handelt.
 - Als eine *geringe Anzahl* von Kooperationspartnern wird die Zusammenarbeit von zwei Akteuren im Bereich der Instandhaltung bezeichnet.
 - Eine *überschaubare Anzahl* an Kooperationspartnern stellen zwei bis zehn kooperierende Akteure zur Instandhaltung dar.
 - Von einer *größeren Anzahl* an Partnern zur kooperativen Instandhaltung spricht man, wenn mehr als zehn Akteure zusammenarbeiten.

Arbeitet eine größere Anzahl an Kooperationspartnern bei der kooperativen Instandhaltung zusammen, so ist dies eher ein Kennzeichen für ein kooperatives Netzwerk als für eine Kooperation.

- Die Verteilung der **Macht** in einer Instandhaltungskooperation bezieht sich auf die Rangfolge innerhalb der Zusammenarbeit, wobei die Weisungsbefugnis der jeweiligen Akteure in Abhängigkeit von den einzelnen Fähigkeiten und Bedürfnisse bezüglich der Instandhaltung steht.
 - Eine *hierarchische Kooperation* ist gekennzeichnet durch ein Über- und Unterordnungsverhältnis, wobei die Weisungsbefugnis bei einem Akteur liegt.
 - Bei *heterarchischen Kooperationen* sind die Machtzentren verteilt und die Weisungsbefugnis wechselt zwischen den jeweiligen Partnern.
 - In einer *hierarchielosen Kooperation* besteht zwischen den einzelnen Kooperationspartnern keine Weisungsbefugnis.
- Die **Struktur** einer Instandhaltungskooperation bildet den organisatorische Aufbau der kooperativen Zusammenarbeit im Bereich der Instandhaltung. Dabei werden Führungsfunktionen auf die entsprechenden Akteure verteilt.
 - Bei einem *monolithischem Aufbau* steht ein Akteur im Zentrum der Kooperation und leitet die notwendigen Aktivitäten zur Instandhaltung.
 - In einem *polyzentrischen Aufbau* sind die Akteure räumlich verteilt, sodass kein Zentrum für die Zusammenarbeit auszumachen ist.
- Das **Beziehungsgeflecht** einer Instandhaltungskooperation zeigt, wie stark die Kopplungen einer Kooperationsbeziehung ausgeprägt sind und wie viele Akteure daran beteiligt sind.
 - Eine *einfache Kooperation* im Bereich der Instandhaltung erfolgt meist zwischen zwei Akteuren, indem beispielsweise zwischen dem Betreiberunternehmen und dem Hersteller einer technischen Einheit eine bilaterale Kopplung stattfindet.
 - Bei *komplexen Kooperationen* finden mehrseitige Beziehungen zwischen verschiedenen Akteuren je nach Bedarf der Instandhaltungsleistungen statt.

Nachfolgend werden die Kriterien und Merkmale der Instandhaltung hinsichtlich der kooperativen Instandhaltung mit ihren jeweiligen Ausprägungen beschrieben:

- Die **örtliche Verteilung** der Instandhaltung steht in direktem Zusammenhang mit der Bündelung von Kompetenzen und der Spezialisierung des Instandhaltungspersonals. Beides wirkt sich auf die Reaktionszeit des Instandhaltungspersonals und somit auf die Verfügbarkeit der technischen Einheiten besonders deutlich aus.
 - Eine *zentrale Instandhaltung* erfolgt im Sinne einer Instandhaltungskooperation, wenn Instandhaltungsmitarbeiter ausschließlich im eigenen Unternehmen tätig sind.
 - Bei *dezentraler Instandhaltung* werden im Sinne einer Instandhaltungskooperation auch Instandhaltungsleistungen in anderen Unternehmen erbracht.
- Die **personelle Aufgabenverteilung** einer kooperativen Instandhaltung ist davon abhängig, inwieweit die Instandhaltungsaufgaben durch die Betreiber von technischen Einheiten selbst ausgeführt oder auf andere Akteure übertragen werden.
 - Die *Eigeninstandhaltung* erfolgt ausschließlich durch unternehmenseigene Mitarbeiter, ohne dass Unterstützung von unternehmensfremden Akteuren in Anspruch genommen wird.
 - Bei der *Fremdinstandhaltung* werden die notwendigen Tätigkeiten zur Instandhaltung ausnahmslos durch das unternehmensfremde Personal der Kooperationspartner ausgeführt.
 - Eine *Kombination* aus Eigen- und Fremdinstandhaltung tritt auf, wenn Instandhaltungsaufgaben von unternehmenseigenen Mitarbeitern übernommen werden und gleichzeitig die Unterstützung von unternehmensfremdem Instandhaltungspersonal in Anspruch genommen wird.
- Mit der **Integration von Instandhaltungstätigkeiten** werden einfache Instandhaltungsaufgaben (Wartungsarbeiten) auf die Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten verlagert, um das Instandhaltungspersonal zugunsten komplexer Instandhaltungstätigkeiten zu entlasten.

- Einfache *Wartungsarbeiten* zur Pflege und zum Erhalt der Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten werden durch die Produktionsmitarbeiter und Bediener ausgeführt.
 - Aufwändigere *Routinearbeiten* sind anspruchsvollere Instandhaltungstätigkeiten, die aber nach mehrfacher Wiederholung erledigt werden können.
 - Unter *komplexen Instandhaltungsaufgaben* werden Tätigkeiten verstanden, die eine hohe Fachkompetenz und Erfahrung zur Wiederherstellung bzw. Erhöhung der Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten benötigen.
- Die **Lagerhaltung von Ersatzteilen** spielt in Bezug auf die Verfügbarkeit von technischen Einheiten eine große Rolle. Allerdings wirkt sich die Kapitalbindung durch Ersatzteile auf die Instandhaltungskosten aus.
 - Bei *zentraler Lagerhaltung* ist mehreren Akteuren der Zugriff auf die Ersatzteile möglich, wobei die Kosten für die Materialwirtschaft aufgeteilt werden.
 - Aus *dezentraler Lagerhaltung* der Ersatzteile folgt eine kurze Reaktionszeit im Bedarfsfall, doch die Kosten für die Materialwirtschaft bleiben komplett beim Lagerbetreiber.
 - Die *kombinierte Lagerhaltung* ermöglicht die gemeinschaftliche Bewirtschaftung von beispielsweise teuren Ersatzteilen, zugleich erlaubt sie die dezentrale Lagerung von besonders wichtigen Ersatzteilen.
 - Die **Nutzung eines IPS-Systems** beschreibt, in welcher Form die einzelnen Kooperationspartner ein IPS-System für Planung, Organisation und Kontrolle von Instandhaltungsaufgaben einsetzen.
 - Eine *zentrale Nutzung* des IPS-Systems durch alle Kooperationspartner steigert die Effizienz und erhöht die Transparenz der Instandhaltung. Gleichzeitig verringern sich die Anschaffungskosten für jeden einzelnen Akteur.
 - Die *dezentrale Nutzung* setzt ein eigenes IPS-System bei jedem Kooperationspartner voraus. Diese Lösung verhindert einen Informations- und Datenverlust und ermöglicht eine individuelle Anpassung.
 - Wird *kein IPS-System genutzt*, erfolgt die Instandhaltung nur nach mündlichen Absprachen oder nach dem Einsatz herkömmlicher Informationstechnik.

Insbesondere bei KMU kann nicht immer vorausgesetzt werden, dass sie über ein IPS-System verfügen. Auch ohne ein spezielles IPS-System ist eine partnerschaftliche Zusammenarbeit möglich, wobei enge Absprachen und ein gut gesteuerter Informationsfluss eine Grundvoraussetzung darstellen.

Eine Zusammenfassung der Gestaltungskriterien erfolgt wiederum mit Hilfe eines morphologischen Kastens, wodurch sich das „*Allgemeine Grundsche ma der kooperativen Instandhaltung*“ als strukturelle Grundlage der partnerschaftlichen Zusammenarbeit bei der betrieblichen Instandhaltung ergibt. Davon können nun verschiedene Vorgehensweisen der kooperativen Instandhaltung abgeleitet werden.

In Abbildung 3.13 auf Seite 108 ist das allgemeine Grundsche ma der kooperativen Instandhaltung dargestellt.

3.4.2 Komplementäre Instandhaltungskooperation

Die **komplementäre Instandhaltungskooperation** bezeichnet eine Vorgehensweise der kooperativen Instandhaltung mit Drittunternehmen für Instandhaltungsleistungen [vgl. Fröhner u. a., 2004, S. 74-79].

In Abbildung 3.10 ist die allgemeine Grundstruktur der komplementären Instandhaltungs Kooperation dargestellt.

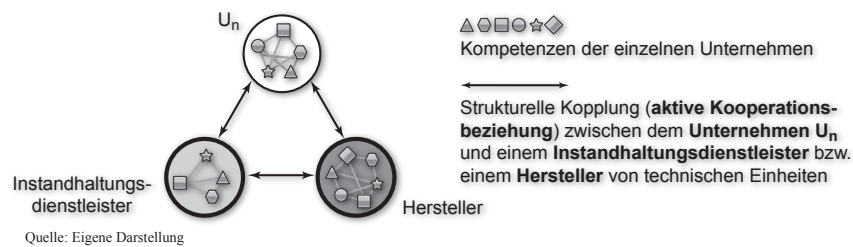


Abbildung 3.10: Allgemeine Grundstruktur der komplementären Instandhaltungs Kooperation

Die Analyse der Instandhaltung in der Praxis hat gezeigt (vgl. Kapitel 2.4), dass insbesondere die *komplementäre Instandhaltungs Kooperation*²⁶ die IST-Situation in der Praxis darstellt und somit eine übliche Vorgehensweise bei der Instandhaltung von technischen Einheiten ist. Abstufungen gibt es hier beim Anteil der Fremdvergabe von einzelnen Instandhaltungsaufgaben bis hin zur kompletten Auslagerung der Instandhaltung.

In Abbildung 3.14 auf Seite 109 ist das spezifische Grundschemata der komplementären Instandhaltungs Kooperation durch die hervorgehobenen Kriterienausprägungen dargestellt.

3.4.3 Kooperatives Instandhaltungsnetzwerk

Ein **kooperatives Instandhaltungsnetzwerk** kennzeichnet ebenfalls die partnerschaftliche Zusammenarbeit von Unternehmen im Bereich der Instandhaltung. Dazu finden sich Instandhaltungsmitarbeiter von regional ansässigen Unternehmen zu regelmäßigen (Instandhaltungs-) Treffen zusammen und tauschen sich über instandhaltungsbezogene Themen aus [vgl. Weißenbach, 2009, S. 21].

In Abbildung 3.11 ist die allgemeine Grundstruktur eines kooperativen Instandhaltungsnetzwerkes dargestellt.

In einem kooperativen Instandhaltungsnetzwerk stehen vor allem das Kennenlernen von möglichen Partnern für eine engere partnerschaftliche Zusammenarbeit und der Austausch von Informationen im Vordergrund. Das Zusammenkommen erfolgt dabei durch regelmäßige Treffen in den unterschiedlichen Unternehmen des Netzwerkes. Bei diesen Zusammenkünften haben die Vertreter der einzelnen Unternehmen die Gelegenheit, über verschiedene Aspekte der Instandhaltung zu diskutieren, die eigene Instandhaltung vorzustellen und diese mit den Fachkollegen kritisch zu hinterfragen. In zwanglosen Gesprächen und durch organisierte Vorträge werden so Neuigkeiten und Erfahrungen ausgetauscht oder verschiedene Anregungen zur Verbesserung der eigenen Instandhaltung gesammelt. Als sinnvoll erscheint es, wenn solche Netzwerktreffen durch einen Moderator vorbereitet und angeleitet werden. Der Moderator legt in Übereinstimmung mit den beteiligten Unternehmen die Termine für die Zusammenkünfte fest und lädt dazu öffentlich ein [vgl. Weißenbach, 2009, S. 21-22].

Seit einiger Zeit werden solche Instandhaltertreffen durch das Fachgebiet Fabrikbetrieb der Technischen Universität Ilmenau organisiert und erfolgreich in wechselnden Unternehmen einer Region

²⁶ *Komplementäre Instandhaltungs Kooperation* – Die komplementäre Instandhaltungs Kooperation soll in dieser Arbeit nicht als Schwerpunkt behandelt werden. Verwiesen sei auf die Ausführungen von [Fröhner u. a., 2004], die sich ausschließlich mit der komplementären Instandhaltungs Kooperation beschäftigen. Dabei wird erläutert, wie die Aktivitäten der Instandhaltung unter den Herstellern von technischen Einheiten, Instandhaltungsdienstleistern, Logistikdienstleistern und den Betreibern von technischen Einheiten aufgeteilt werden können. Zudem beschäftigt sich die genannte Arbeit mit dem Informations-, Material- und Finanzfluss zwischen den einzelnen Kooperationspartnern. Leider ist die Arbeit nicht mehr aktuell, da inzwischen einzelne Teilbereiche durch die zunehmende Verbreitung multimedialer Kommunikationsstrukturen überholt sind. Dennoch ermöglicht sie einen guten Überblick zu komplementären Instandhaltungs Kooperationen.

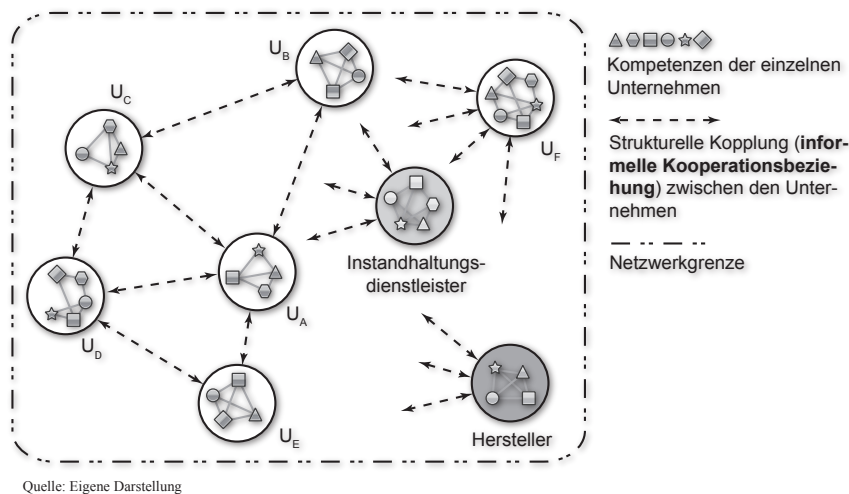


Abbildung 3.11: Allgemeine Grundstruktur eines kooperativen Instandhaltungsnetzwerkes

durchgeführt. Bei diesen Treffen finden sich in regelmäßigen Abständen in etwa 25-35 Instandhaltungsmitarbeiter aus den unterschiedlichsten Unternehmen und Branchen zusammen, um Neuigkeiten und Erfahrungen auszutauschen. In Absprache mit den Teilnehmern werden dazu in einer Vortragssequenz theoretische Beiträge zum Themenbereich der betrieblichen Instandhaltung präsentiert, die teilweise durch die Teilnehmer des Instandhaltertreffens gewünscht oder sogar vorbereitet wurden. In einer weiteren Sequenz stellen Anbieter von speziellen Technologien, Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. ihr Produktportfolio vor. Ein gemeinsamer Betriebsrundgang im jeweiligen Gastgeberunternehmen bildet meistens den Abschluss des Instandhaltertreffens, zu dem immer wieder neue Teilnehmer der regional ansässigen Unternehmen hinzukommen [vgl. Weißenbach, 2009, S. 21-22].

Durch die in den Instandhaltertreffen geknüpften Verbindungen ist es bereits gelungen, ein kooperatives Instandhaltungsnetzwerk aufzubauen. Dabei konnten auch schon Erfolge erzielt werden. Erfreulich ist, dass beispielsweise durch Anregung eines Unternehmens ein anderes branchenungleiches Unternehmen ein IPS-System eingeführt hat, welches sich bereits im darauf hinweisenden Unternehmen bewährt hatte. Ein weiteres Unternehmen benötigte dringend einen Instandhaltungsmitarbeiter mit Kompetenzen in der Programmierung sowie das dazu notwendige Programmiergerät für eine spezielle Anwendung. Auch hier konnte durch die geknüpften Verbindungen eine Lösung gefunden werden. Eines der teilnehmenden Unternehmen des Instandhaltertreffens entsendete einen seiner unternehmenseigenen Instandhaltungsmitarbeiter mit dem notwendigen Programmiergerät, sodass das in Anspruch nehmende Unternehmen (Netzwerkpartner) eine schnelle und kostengünstige Bearbeitung seiner Instandhaltungsaufgabe erfahren konnte [vgl. Weißenbach, 2009, S. 21-22].

In Abbildung 3.15 auf Seite 110 ist das spezifische Grundschemata eines kooperativen Instandhaltungsnetzwerkes mit den hervorgehobenen Kriterienausprägungen dargestellt.

3.4.4 Lösungsansatz: Horizontale Instandhaltungskooperation

Die **horizontale Instandhaltungskooperation** bezeichnet die „Leistungsbündelung von Instandhaltungsressourcen durch partnerschaftliche Zusammenarbeit in horizontaler Ausrichtung von zwei oder mehreren rechtlich und wirtschaftlich selbständigen Unternehmen der lokalen Umgebung zum Zweck der gemeinsamen und unternehmensübergreifenden Instandhaltung von technischen Einheiten“ und stellt ebenso eine Vorgehensweise der kooperativen Instandhaltung dar.

In Abbildung 3.12 ist die allgemeine Grundstruktur einer horizontalen Instandhaltungskooperation anhand von drei kooperierenden Unternehmen dargestellt.

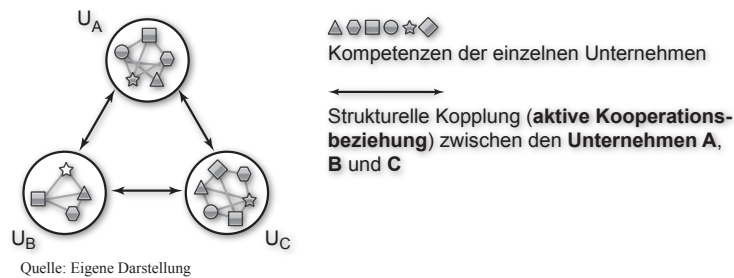


Abbildung 3.12: Allgemeine Grundstruktur einer horizontalen Instandhaltungskooperation

Mehrere Unternehmen einer lokalen Umgebung mit ähnlichen technischen Einheiten bündeln dabei ihre Instandhaltungsressourcen und Fachkompetenz, und organisieren die Instandhaltung in einem definierten Rahmen gemeinsam. Dies bedeutet, dass zur Bewerkstellung der Instandhaltungsaufgaben eine *unternehmensübergreifend* agierende **Gruppe von Kompetenzträgern**, die sich aus Instandhaltungsmitarbeitern der kooperierenden Unternehmen zusammensetzt, einen operativen **Verbund** bildet und die betriebspezifisch erforderliche Verfügbarkeit und zuverlässige Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten aller beteiligten Partner sicherstellt. So kann auf einen kostenintensiven Fremdbezug von Instandhaltungsleistungen von Drittunternehmen verzichtet werden, der dann nur noch in Sonderfällen notwendig ist [vgl. Weißenbach, 2007a, S. 11].

Die allgemeinen Gestaltungskriterien der kooperativen Instandhaltung werden für eine horizontale Instandhaltungskooperation durch weitere Kriterien und Merkmale der Kooperation und Instandhaltung ergänzt bzw. werden neue Ausprägungen hinzugefügt.

Im Folgenden werden die hinzugekommenen Kriterien und Merkmale einer horizontalen Instandhaltungskooperation mit ihren jeweiligen Ausprägungen beschrieben:

- **Anwendungsbereich** der Kooperation

Die *Instandhaltung* stellt einen weiteren Anwendungsbereich von Kooperationen dar, in dem Unternehmen aus derselben oder aus unterschiedlichen Branchen zur gemeinsamen Sicherstellung der Funktions- und Leistungsfähigkeit von technischen Einheiten zusammenarbeiten. Durch die partnerschaftliche Zusammenarbeit gewährleisten sie kurze Reaktionszeiten bei der Instandhaltung und eine gute Betreuung der technischen Einheiten bei vertretbaren Kosten bei allen beteiligten Kooperationspartnern.

- **Art** der Kooperation

Ein *Verbund* zur gemeinsamen Instandhaltung (Verbundinstandhaltung) hat das Ziel, durch die Konzentration von Instandhaltungsressourcen und -kompetenzen eine effektivere Instandhaltung der technischen Einheiten bzw. deren besseren Auslastung zu ermöglichen. Im Vordergrund steht dabei die gegenseitige personelle Unterstützung, gemeinsame Aus- und Weiterbildung des Instandhaltungspersonals sowie die gemeinsame Anschaffung von teuren Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. und die gemeinschaftliche Bevorratung von Ersatzteilen für die Instandhaltung.

- **Personelle Aufgabenverteilung** der Instandhaltung

Bei der *Verbundinstandhaltung* führt eine Gruppe von Kompetenzträgern, welche sich aus qualifizierten Instandhaltungsmitarbeitern der verschiedenen lokalen Unternehmen (Kooperationspartnern) zusammensetzt, die notwendigen Instandhaltungstätigkeiten zur Funktions- und Leistungssicherung der technischen Einheiten bei allen an einer horizontalen Instandhaltungskooperation beteiligten Partnern durch.

In Abbildung 3.16 auf Seite 111 ist das spezifische Grundschema einer horizontalen Instandhaltungskooperation dargestellt.

	Kriterium/ Merkmal	Ausprägung			
Kriterien zur Gestaltung von Kooperationen und Netzwerken	Grundform	betriebsübergreifend	innerbetrieblich	zwischenbetrieblich	
	Ausrichtung	horizontal	vertikal	diagonal/komplementär	
	Intensität	gering: unverbindliche Zusammenarbeit/Empfehlungen	moderat: Austausch von Informationen und Ergebnissen	hoch: koordiniertes, gemeinschaftliches Vorgehen	
	Verbindlichkeit	lose Kooperation mit geringem Risiko/mündliche Absprachen	engere Kooperation mit stärkerem Engagement und definierten Zielen/vertragliche Abmachung	intensive Kooperation bis zur Aufgabe der wirtschaftlichen Selbstständigkeit/kapitalmäßige Verflechtung bis zur Unternehmensaufgabe	
	Ausdehnung	lokal	regional	national	international
	Dauer	temporär (kurzfristig)		permanent (dauerhaft)	
	Zutrittsmöglichkeit	offene Kooperation: freie Zutrittsmöglichkeit		geschlossene Kooperation: Zutritt nur nach vorheriger Aufnahme	
	Zielidentität	redistributive Kooperation: durch Zusammenlegung von Ressourcen		reziproke Kooperation: durch den Austausch von Leistungen	
	Fähigkeit	synergetische Kooperation: mit wechselseitigem Nutzen		additive Kooperation: mit optimierendem Effekt	
	Kopplung	bilateral		trilateral/multilateral	
	Partneranzahl	geringe Anzahl (2 Partner)	überschaubare Anzahl (2-10 Partner)	größere Anzahl (mehr als 10 Partner)	
	Macht	hierarchisch	heterarchisch	hierarchielos	
	Aufbau	monolithisch		polyzentrisch	
	Beziehungsgeflecht	einfach		komplex	
Instandhaltungsspezifische Gestaltungskriterien	Örtliche Verteilung der Instandhaltung	zentral		dezentral	
	Personelle Aufgabenteilung	Eigeninstandhaltung	Fremdinstandhaltung	Kombination aus Eigen- und Fremdinstandhaltung	
	Integration von Instandhaltungstätigkeiten	einfache Wartungsarbeiten	einfache Wartungs-, Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten (Routinearbeiten)	komplexe Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten sowie Verbesserungsarbeiten	
	Lagerhaltung von Ersatzteilen	zentral	dezentral	kombiniert	
	Nutzung eines IPS-Systems	zentral	dezentral	ohne IPS-System	

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Ndouma, 1997, S. 15, S. 54-59] und [Wirth u. Baumann, 2001, S. 94]

Abbildung 3.13: Allgemeines Grundschema der kooperativen Instandhaltung

Kriterien zur Gestaltung von Kooperationen und Netzwerken	Kriterium/ Merkmal	Ausprägung			
	Grundform	betriebsübergreifend	innerbetrieblich	zwischenbetrieblich	
	Ausrichtung	horizontal	vertikal	diagonal/komplementär	
	Intensität	gering: unverbindliche Zusammenarbeit/Empfehlungen	moderat: Austausch von Informationen und Ergebnissen	hoch: koordiniertes, gemeinschaftliches Vorgehen	
	Verbindlichkeit	lose Kooperation mit geringem Risiko/mündliche Absprachen	engere Kooperation mit stärkerem Engagement und definierten Zielen/vertragliche Abmachung	intensive Kooperation bis zur Aufgabe der wirtschaftlichen Selbstständigkeit/kapitalmäßige Verflechtung bis zur Unternehmensaufgabe	
	Ausdehnung	lokal	regional	national	international
	Dauer	temporär (kurzfristig)		permanent (dauerhaft)	
	Zutrittsmöglichkeit	offene Kooperation: freie Zutrittsmöglichkeit		geschlossene Kooperation: Zutritt nur nach vorheriger Aufnahme	
	Zielidentität	redistributive Kooperation: durch Zusammenlegung von Ressourcen		reziproke Kooperation: durch den Austausch von Leistungen	
	Fähigkeit	synergetische Kooperation: mit wechselseitigem Nutzen		additive Kooperation: mit optimierendem Effekt	
	Kopplung	bilateral		trilateral/multilateral	
	Partneranzahl	geringe Anzahl (2 Partner)	überschaubare Anzahl (2-10 Partner)	größere Anzahl (mehr als 10 Partner)	
	Macht	hierarchisch	heterarchisch	hierarchielos	
	Aufbau	monolithisch		polyzentrisch	
	Beziehungsgeflecht	einfach		komplex	
Instandhaltungsspezifische Gestaltungskriterien	Örtliche Verteilung der Instandhaltung	zentral		dezentral	
	Personelle Aufgabenverteilung	Eigeninstandhaltung	Fremdinstandhaltung	Kombination aus Eigen- und Fremdinstandhaltung	
	Integration von Instandhaltungstätigkeiten	einfache Wartungsarbeiten	einfache Wartungs-, Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten (Routinearbeiten)	komplexe Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten sowie Verbesserungsarbeiten	
	Lagerhaltung von Ersatzteilen	zentral	dezentral	kombiniert	
	Nutzung eines IPS-Systems	zentral	dezentral	ohne IPS-System	

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Ndouma, 1997, S. 15, S. 54-59] und [Wirth u. Baumann, 2001, S. 94]

Abbildung 3.14: Spezifisches Grundschema der komplementären Instandhaltungskooperation

	Kriterium/ Merkmal	Ausprägung			
Kriterien zur Gestaltung von Kooperationen und Netzwerken	Grundform	betriebsübergreifend	innerbetrieblich	zwischenbetrieblich	
	Ausrichtung	horizontal	vertikal	diagonal/komplementär	
	Intensität	gering: unverbindliche Zusammenarbeit/Empfehlungen	moderat: Austausch von Informationen und Ergebnissen	hoch: koordiniertes, gemeinschaftliches Vorgehen	
	Verbindlichkeit	lose Kooperation mit geringem Risiko/mündliche Absprachen	engere Kooperation mit stärkerem Engagement und definierten Zielen/vertragliche Abmachung	intensive Kooperation bis zur Aufgabe der wirtschaftlichen Selbstständigkeit/kapitalmäßige Verflechtung bis zur Unternehmensaufgabe	
	Ausdehnung	lokal	regional	national	international
	Dauer	temporär (kurzfristig)		permanent (dauerhaft)	
	Zutrittsmöglichkeit	offene Kooperation: freie Zutrittsmöglichkeit		geschlossene Kooperation: Zutritt nur nach vorheriger Aufnahme	
	Zielidentität	redistributive Kooperation: durch Zusammenlegung von Ressourcen		reziproke Kooperation: durch den Austausch von Leistungen	
	Fähigkeit	synergetische Kooperation: mit wechselseitigem Nutzen		additive Kooperation: mit optimierendem Effekt	
	Kopplung	bilateral		trilateral/multilateral	
	Partneranzahl	geringe Anzahl (2 Partner)	überschaubare Anzahl (2-10 Partner)	größere Anzahl (mehr als 10 Partner)	
	Macht	hierarchisch	heterarchisch	hierarchielos	
	Aufbau	monolithisch		polyzentrisch	
	Beziehungsgefüge	einfach		komplex	
Instandhaltungsspezifische Gestaltungskriterien	Örtliche Verteilung der Instandhaltung	zentral		dezentral	
	Personelle Aufgabenteilung	Eigeninstandhaltung	Fremdinstandhaltung	Kombination aus Eigen- und Fremdinstandhaltung	
	Integration von Instandhaltungstätigkeiten	einfache Wartungsarbeiten	einfache Wartungs-, Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten (Routinearbeiten)	komplexe Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten sowie Verbesserungsarbeiten	
	Lagerhaltung von Ersatzteilen	zentral	dezentral	kombiniert	
	Nutzung eines IPS-Systems	zentral	dezentral	ohne IPS-System	

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Ndouma, 1997, S. 15, S. 54-59] und [Wirth u. Baumann, 2001, S. 94]

Abbildung 3.15: Spezifisches Grundschema eines kooperativen Instandhaltungsnetzwerkes

	Kriterium/ Merkmal	Ausprägung			
Kriterien zur Gestaltung von Kooperationen und Netzwerken	Grundform	betriebsübergreifend		innerbetrieblich	zwischenbetrieblich
	Bereich	Marktforschung und Marketing	Forschung und Entwicklung	Finanzierung	Personal
		Beschaffung und Materialwirtschaft	Produktion	Vertrieb und Service	Instandhaltung
	Ausrichtung	horizontal		vertikal	diagonal/komplementär
	Art	Interessensge- meinschaft/Verbund	Konsortium/Arbeits- gemeinschaft	Virtuelles Unterneh- men Organisation	Strategische Allianz
		Franchising		Supply Chain Management - SCM	Joint Venture/Ge- meinschaftsuntern.
	Intensität	gering: unverbindliche Zu- sammenarbeit/Empfehlungen		moderat: Austausch von In- formationen und Ergebnissen	hoch: koordiniertes, gemeinschaftliches Vorgehen
	Verbindlichkeit	lose Kooperation mit geringem Risiko/münd- liche Absprachen		engere Kooperation mit stärkerem Engagement und definierten Zielen/ver- tragliche Abmachung	intensive Kooperation bis zur Aufgabe der wirtschaftlichen Selbstständigkeit/kapital- mäßige Verflechtung bis zur Unternehmensaufgabe
	Ausdehnung	lokal	regional	national	international
	Dauer	temporär (kurzfristig)			permanent (dauerhaft)
	Zutrittsmöglichkeit	offene Kooperation: freie Zutrittsmöglichkeit			geschlossene Kooperation: Zutritt nur nach vorherige Aufnahme
	Zielidentität	redistributive Kooperation: durch Zusammenlegung von Ressourcen			reziproke Kooperation: durch den Austausch von Leistungen
	Fähigkeit	synergetische Kooperation: mit wechselseitigem Nutzen			additive Kooperation: mit optimierendem Effekt
	Kopplung	bilateral			trilateral/multilateral
	Partneranzahl	geringe Anzahl (2 Partner)		überschaubare Anzahl (2-10 Partner)	größere Anzahl (mehr als 10 Partner)
	Macht	hierarchisch		heterarchisch	hierarchielos
Instandhaltungsspezifische Gestaltungskriterien	Aufbau	monolithisch			polyzentrisch
	Beziehungs- gefüge	einfach			komplex
	Örtliche Verteilung der Instandhaltung	zentral			dezentral
	Personelle Aufgaben- verteilung	Eigeninstandhaltung			Fremdinstandhaltung
		Kombination aus Eigen- und Fremdinstandhaltung			Verbundinstandhaltung (durch eine Gruppe von Kompetenzträgern lokaler Unternehmen)
	Integration von Instandhaltungs- tätigkeiten	einfache Wartungsarbeiten		einfache Wartungs-, Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten (Routinearbeiten)	komplexe Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten sowie Verbesserungs- arbeiten
	Lagerhaltung von Ersatzteilen	zentral		dezentral	kombiniert
	Nutzung eines IPS-Systems	zentral		dezentral	ohne IPS-System

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Ndouma, 1997, S. 15, S. 54-59] und [Wirth u. Baumann, 2001, S. 94]

Abbildung 3.16: Spezifisches Grundschea einer horizontalen Instandhaltungskooperation

3.5 Fazit

Die Auseinandersetzung mit den theoretischen Grundlagen von Kooperationen und Netzwerken hat gezeigt, dass es vielfältige Möglichkeiten der partnerschaftlichen Zusammenarbeit von Unternehmen gibt. Allerdings konnte dabei festgestellt werden, dass die theoretischen Grundlagen der partnerschaftlichen Zusammenarbeit von Unternehmen keine konkreten Hinweise auf die betriebliche Instandhaltung als Gegenstand kooperativer Beziehungen geben. Es mussten daher mit Hilfe der Gestaltungskriterien und Merkmale erst die strukturellen Grundlagen für die partnerschaftliche Zusammenarbeit bei der betrieblichen Instandhaltung definiert werden. Ausgehend von der kooperativen Instandhaltung ließ sich dann die komplementäre Instandhaltungskooperation als bisher übliche Vorgehensweise bei der betrieblichen Instandhaltung von technischen Einheiten identifizieren. Ebenso konnte das kooperative Instandhaltungsnetzwerk von Unternehmen als Instrumentarium zum Kennenlernen, Informationsaustausch und zur Diskussion verschiedener Gesichtspunkte der Instandhaltung ermittelt werden. Des Weiteren ist es gelungen, auf Basis der kooperativen Instandhaltung und durch Erweiterung der Gestaltungskriterien und Merkmale eine horizontale Instandhaltungskooperation als möglichen Lösungsansatz für die betriebliche Instandhaltung bei KMU abzuleiten.

Die erlangten Erkenntnisse bezüglich der partnerschaftlichen Zusammenarbeit von Unternehmen bestätigen die dritte und vierte These (vgl. Kapitel 1.2). Es ist nun zu überlegen, wie die partnerschaftliche Zusammenarbeit und unternehmensübergreifende Instandhaltung von lokal ansässigen Unternehmen ausgestaltet sein muss. Gleichzeitig ist die Wirksamkeit bzw. Leistungsfähigkeit einer **„horizontalen Instandhaltungskooperation“** in Bezug auf die entstehenden Instandhaltungskosten und die Verfügbarkeit der technischen Einheiten zu prüfen.

4 Horizontale Instandhaltungs Kooperation

Eine **horizontale Instandhaltungs Kooperation** ist eine neue Vorgehensweise der kooperativen Instandhaltung und ergänzt die bisher üblichen Möglichkeiten der Eigen- und Fremdinstandhaltung. Dabei bündeln die beteiligten Unternehmen der Kooperation ihre Instandhaltungsressourcen zum Zweck der gemeinsamen und unternehmensübergreifenden Instandhaltung der technischen Einheiten. Dadurch stellt eine horizontale Instandhaltungs Kooperation eine geeignete Instandhaltungslösung für KMU dar.

In Kapitel 4 werden zunächst *allgemeine Anforderungen* an eine horizontale Instandhaltungs Kooperation definiert, bevor fünf *Beispielunternehmen* beschrieben werden. Im Anschluss erfolgt die *Gestaltung einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation* entsprechend der partnerschaftlichen Zusammenarbeit sowie der unternehmensübergreifenden Instandhaltung von Unternehmen. Daraufhin findet eine Einschätzung der *Erfolgsaussichten einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation* statt.

Anschließend wird anhand gewählter Beispielunternehmen die *Durchführung einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation* mittels typischer Fallbeispiele der geplanten und nicht geplanten Instandhaltung erläutert und deren Wirksamkeit mit den üblichen Vorgehensweisen der komplementären Instandhaltungs Kooperation verglichen. Durch Simulation verschiedener Szenarien erfolgt im Anschluss eine Überprüfung der zu erwartenden Leistungsfähigkeit einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation von KMU. Danach findet eine *Bewertung der Erkenntnisse* für die eventuelle Rückkopplung in die Praxis statt. Zudem werden die Vor- und Nachteile der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation erläutert.

4.1 Allgemeine Anforderungen

Neben den spezifischen Zielen der Instandhaltung (vgl. Kapitel 2.3.1.1) werden an eine horizontale Instandhaltungs Kooperation auch allgemeine Anforderungen gestellt, die eine hohe Akzeptanz bei den Unternehmen ermöglichen und eine möglichst schnelle und erfolgreiche Umsetzung in die Praxis gewährleisten sollen [nach Ndouma, 1997, S. 39-40]:

Branchenunabhängigkeit: Eine horizontale Instandhaltungs Kooperation soll für ein möglichst breites Anwendungsfeld gestaltet sein, sodass sowohl Produktions- und Dienstleistungsunternehmen als auch Handelsunternehmen aus unterschiedlichen Branchen daran teilnehmen können.

Einfachheit: Die partnerschaftliche Zusammenarbeit bei der Instandhaltung soll so aufgebaut sein, dass die Struktur und der Ablauf von allen beteiligten Partnern möglichst schnell verstanden werden. Eine gewisse Vorkenntnis der Instandhaltung muss allerdings vorausgesetzt werden.

Transparenz: Eine horizontale Instandhaltungs Kooperation erfordert klare und eindeutige Absprachen zwischen den beteiligten Unternehmen. Wichtige Informationen müssen daher allen beteiligten Partnern jederzeit zur Verfügung stehen.

Integrierbarkeit: Eine horizontale Instandhaltungs Kooperation muss als ein Teilbereich in die Struktur der beteiligten Unternehmen eingebunden werden. Dabei ist hervorzuheben, welche Unternehmensbereiche mit der Instandhaltung in Verbindung stehen und wer jeweils die Verantwortung trägt.

Effizienz: Die Anwendung einer horizontalen Instandhaltungskooperation soll mit geringem Aufwand erfolgen, und bei allen Kooperationspartnern zu einer betriebspezifisch erforderlichen Verfügbarkeit und zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten führen – bei wettbewerbsfähigen Instandhaltungskosten.

4.2 Beispielunternehmen

Zur Erörterung einer horizontalen Instandhaltungskooperation dienen fünf Beispielunternehmen, die im Sinne der Empfehlung der Kommission der Europäischen Gemeinschaft als KMU einzustufen sind. Eine notwendige Beschreibung der Unternehmen basiert größtenteils auf Annahmen, allerdings in Anlehnung an reale Unternehmen einer bestimmten Region.

Beispielunternehmen A: Das Unternehmen beschäftigt sich als Logistikdienstleister mit 140 Mitarbeitern mit der Auslieferung von Medienprodukten (Bücher, Software, Tonträger usw.), die sowohl an den Einzelhandel als auch an Endkunden geliefert werden. Dabei werden die in einem Hochregalsystem eingelagerten Artikel auftragsspezifisch kommissioniert und nach anschließendem Verpackungsvorgang viermal täglich an die Kunden versendet. Neben einem vollautomatisierten Hochregalsystem stehen vier flurgebundene Stetigförderanlagen sowie zwei Verpackungsanlagen zur Verfügung, die im 2-Schicht-Betrieb eingesetzt werden. Zur Instandhaltung der technischen Einheiten stehen zwei Instandhaltungsmitarbeiter A_1 und A_2 zur Verfügung, die ein mittleres Qualifikationsniveau besitzen und im 1-Schicht-Betrieb arbeiten. Für Störungen oder Ausfälle, die außerhalb der Einsatzzeit der Instandhaltungsmitarbeiter erfolgen und nicht durch die Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheit behoben werden können, besteht eine Rufbereitschaft der Instandhaltungsmitarbeiter. Komplexere Instandhaltungsaufgaben werden an Drittunternehmen (Hersteller der technischen Einheiten und Instandhaltungsdienstleister) vergeben. Der Standort des Unternehmens ist von den anderen Beispielunternehmen maximal 15,5 km entfernt (vgl. Tabelle C.21 in Kapitel C.4.3 im Anhang).

Beispielunternehmen B: Das Unternehmen zählt 64 Mitarbeiter und betätigt sich als Produktionsunternehmen und Zulieferer der Automobilindustrie mit der Herstellung von Kunststoffspritzgussteilen. Hierzu werden mittels Kunststoffspritzgussanlagen überwiegend Artikel für den Fahrzeuginnenraum hergestellt. Nach entsprechender Form- und Farbgebung sowie Qualitätssicherung erfolgt die Verpackung der Kunststoffspritzgussteile und eine im Rahmen einer Just-in-time-Belieferung vereinbarte Versendung an die einzelnen Automobilhersteller. Zur Produktion der Kunststoffspritzgussteile stehen 24 halbautomatisierte Kunststoffspritzgussanlagen, drei halbautomatisierte Werkzeugmaschinen (Fräs- und Drehmaschinen), ein vollautomatisiertes Bearbeitungszentrum sowie eine vollautomatisierte Beschichtungsanlage (Pulverbeschichtung) zur Verfügung, die zum Teil im 3-Schicht-Betrieb betrieben werden. Zur Instandhaltung der technischen Einheiten stehen vier Instandhaltungsmitarbeiter B_1 , B_2 , B_3 und B_4 zur Verfügung, die ein hohes Qualifikationsniveau besitzen und hauptsächlich im 2-Schicht-Betrieb arbeiten. Für Störungen oder Ausfälle, die außerhalb der Einsatzzeit der Instandhaltungsmitarbeiter erfolgen und nicht durch die Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten behoben werden können, besteht eine Rufbereitschaft der Instandhaltungsmitarbeiter. Als Drittunternehmen für Instandhaltungsleistungen werden nur in Sonderfällen bzw. bei besonders komplexen Instandhaltungsaufgaben die Hersteller der technischen Einheiten eingesetzt. Der Standort des Unternehmens ist von den anderen Beispielunternehmen maximal 15,0 km entfernt (vgl. Tabelle C.21 in Kapitel C.4.3 im Anhang).

Beispielunternehmen C: Das Unternehmen produziert mit 18 Mitarbeitern als mechanischer Fertigungsbetrieb im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus unterschiedlich komplexe Maschinenbauteile. Mit Werkzeugmaschinen (Fräs- und Drehmaschinen) werden verschiedenste Werkstücke aus verschiedenen Werkstoffen als Einzelteile oder in geringer Stückzahl hergestellt. Nach entsprechender mechanischer Bearbeitung und anschließender Qualitätsprüfung

erfolgt die Versendung der Maschinenbauteile an die Kunden aus dem Maschinen- und Anlagenbau bzw. der Luftfahrtindustrie. Für die Herstellung der Maschinenbauteile stehen vier manuelle Einzelanlagen, sechs halbautomatisierte Werkzeugmaschinen sowie zwei vollautomatisierte und hoch komplexe Bearbeitungszentren zur Verfügung. Die technischen Einheiten werden überwiegend im 1-Schicht-Betrieb betrieben. Bei Störungen oder Ausfällen, die nicht durch die Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten behoben werden können, werden Drittunternehmen (Hersteller der technischen Einheiten und Instandhaltungsdienstleister) für die Instandhaltung eingesetzt. Bis zum Eintreffen des entsprechenden Drittunternehmens zur Instandhaltung kommt es häufig zum Stillstand der betroffenen technischen Einheit. Der Standort des Unternehmens ist von den anderen Beispielunternehmen maximal 22,5 km entfernt (vgl. Tabelle C.21 in Kapitel C.4.3 im Anhang).

Beispielunternehmen D: Das Unternehmen ist im Konsumgüterhandel tätig und beschäftigt 28 Mitarbeiter. Es befasst sich ausschließlich mit der Auslieferung von Produkten (Textilien, Hygieneartikel, Kosmetika, Haushaltszubehör usw.) für den Einzelhandel. Dabei werden die in einem Hochregalsystem eingelagerten Artikel auftragsspezifisch mit Hilfe von flurbundenen Unstetigförderern oder manuell kommissioniert und dreimal täglich an den Einzelhandel versendet. Neben dem vollautomatisierten Hochregalsystem werden zehn elektrisch betriebene Stapler und eine halbautomatisierte Verpackungsanlage im 2-Schicht-Betrieb eingesetzt. Zur Instandhaltung der technischen Einheiten stehen keine unternehmenseigenen Instandhaltungsmitarbeiter zur Verfügung. Bei Störungen oder Ausfällen der technischen Einheiten werden Drittunternehmen, wie die Hersteller der technischen Einheiten, aber hauptsächlich Instandhaltungsdienstleister eingesetzt. Bis zum Eintreffen des entsprechenden Drittunternehmens zur Instandhaltung kommt es häufig zum Stillstand der betroffenen technischen Einheit. Der Standort des Unternehmens ist von den anderen Beispielunternehmen maximal 11,5 km entfernt (vgl. Tabelle C.21 in Kapitel C.4.3 im Anhang).

Beispielunternehmen E: Das Unternehmen stellt mit 9 Mitarbeitern als Produktionsunternehmen und Zulieferer der Automobilindustrie unterschiedlich komplexe Blechteile für den Karosseriebau in hoher Stückzahl her. Dabei werden die Blechteile aus Blechplatten ausgeschnitten, tiefgezogen und geschweißt. Nach entsprechender mechanischer Bearbeitung und anschließender Qualitätsprüfung erfolgt die Versendung der Werkstücke im Rahmen einer Just-in-time-Belieferung an die einzelnen Automobilhersteller. Für die Herstellung der Blechteile stehen eine manuelle Einzelanlage, eine halbautomatisierte Wasserstrahlschneidanlage, ein vollautomatisiertes Blechbearbeitungszentrum und eine vollautomatisierte und hoch komplexe Laserschweißanlage zur Verfügung. Die technischen Einheiten werden im 1-Schicht-Betrieb, zum Teil auch im 2-Schicht-Betrieb genutzt. Für die Instandhaltung der technischen Einheiten stehen keine unternehmenseigenen Instandhaltungsmitarbeiter zur Verfügung. Einfache Instandhaltungsaufgaben werden durch Produktionsmitarbeiter E_1 erledigt, der auch koordinierende Aufgaben übernimmt. Für alle anderen Instandhaltungstätigkeiten werden Drittunternehmen (Hersteller der technischen Einheiten und Instandhaltungsdienstleister) eingesetzt. Bis zum Eintreffen des entsprechenden Drittunternehmens zur Instandhaltung kommt es häufig zum Stillstand der betroffenen technischen Einheit. Der Standort des Unternehmens ist von den anderen Beispielunternehmen maximal 22,5 km entfernt (vgl. Tabelle C.21 in Kapitel C.4.3 im Anhang).

4.3 Gestaltung einer horizontalen Instandhaltungskooperation

Die Gestaltung einer horizontalen Instandhaltungskooperation erfolgt auf Basis des bereits erarbeiteten spezifischen Grundschemas einer horizontalen Instandhaltungskooperation (vgl. Kapitel 3.4.4). Dazu wird zunächst die partnerschaftliche Zusammenarbeit der kooperierenden Unternehmen anhand der Kriterien und Merkmale beschrieben, bevor die unternehmensübergreifende Instandhaltung erläutert wird. Zur Erklärung der Details und zur Herstellung des Praxisbezugs dienen die gewählten Beispielunternehmen A bis E.

4.3.1 Ausgestaltung der partnerschaftlichen Zusammenarbeit

4.3.1.1 Grundform, Bereich und Ausrichtung

Die partnerschaftliche Zusammenarbeit der kooperierenden Unternehmen erfolgt in ihrer **Grundform** als **zwischenbetriebliche Kooperation**. Dabei arbeiten die Unternehmen freiwillig zusammen, ohne ihre rechtliche und wirtschaftliche Selbständigkeit aufzugeben. Sie konzentrieren sich weiterhin auf ihr eigenes Kerngeschäft und die dazu notwendigen Hauptgeschäftsprozesse; ihre unternehmerische Entscheidungsfreiheit behalten sie bei.

Bei der Kooperation erfolgt die partnerschaftliche Zusammenarbeit im **Anwendungsbereich** der **Instandhaltung**. Dabei werden im Sinne einer verlängerten Werkbank – vergleichbar mit den Anwendungsbereichen Produktion, Personal, Vertrieb und Service sowie Beschaffung und Materialwirtschaft (vgl. Kapitel 3.1.4) – verschiedene Instandhaltungsaufgaben an die Kooperationspartner vergeben. Das Instandhaltungspersonal wird zur besseren Auslastung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation bei den beteiligten Partnern eingesetzt. Dazu organisieren die kooperierenden Unternehmen die Instandhaltung der technischen Einheiten gemeinsam und bündeln ihre Instandhaltungsressourcen entsprechend des jeweils vorhandenen Instandhaltungsvermögens. Die partnerschaftliche Zusammenarbeit der kooperierenden Unternehmen findet in **horizontaler Ausrichtung** statt, da die Unternehmen auf gleicher oder ähnlicher Wertschöpfungsstufe mit gleichen oder ähnlichen Tätigkeitsprofilen agieren, auch wenn sie keiner gemeinsamen Branche angehören.

Im Falle der gewählten Beispielunternehmen zeigen sich diese Kriterien und Merkmale dahingehend, dass die Unternehmen völlig unabhängig voneinander ihren eigenen Geschäftstätigkeiten nachgehen. Die Unternehmen A und D beschäftigen sich beispielsweise mit logistischen Dienstleistungen für den Groß- und Einzelhandel von Gebrauchs- und Konsumgütern; die Unternehmen B, C und E stellen hingegen Bauteile für die Automobil- und Luftfahrtindustrie bzw. den Maschinen- und Anlagenbau her. Die Unternehmen sind weder rechtlich noch finanziell miteinander verbunden und agieren in ganz unterschiedlichen Geschäftsfeldern. Im Rahmen der Kooperation arbeiten sie allerdings im Bereich der Instandhaltung freiwillig zusammen.

4.3.1.2 Art, Intensität und Verbindlichkeit

Die Bündelung der Instandhaltungsressourcen und fachlichen Kompetenzen vollzieht sich durch die kooperierenden Unternehmen in der **Art** eines **Verbundes**. Eine zielgerichtete Verfolgung des gemeinsamen Interesses, nämlich die gemeinsame Instandhaltung der technischen Einheiten, wird dadurch möglich. So können die Stärken der einzelnen Unternehmen genutzt und die Schwächen des häufig fehlenden Instandhaltungsvermögens bei KMU kompensiert werden. Zwischen den beteiligten Kooperationspartnern erfolgt daher neben dem Austausch von Instandhaltungsressourcen, Informationen und Erkenntnissen auch ein koordiniertes, gemeinschaftliches Vorgehen zur Durchführung der Instandhaltungsaufgaben. Die partnerschaftliche Zusammenarbeit der Unternehmen ist innerhalb einer horizontalen Instandhaltungskooperation deshalb von **hoher Intensität** geprägt.

Das gemeinschaftliche Vorgehen wird mit einem **Kooperationsvertrag** verbindlich abgesichert. Darin werden die Kooperationsziele, (Stimm-) Rechte, Pflichten und die Haftungsbeschränkungen der einzelnen Kooperationspartner beschrieben. Außerdem werden die Austrittsbedingungen und der Schutz von Wissen festgelegt. Vor allem wird der „Austausch“ von Instandhaltungsmitarbeitern, Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. wie auch von Ersatzteilen geregelt. Darüber hinaus werden mögliche Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen anhand der ermittelten Fachkompetenz des Instandhaltungspersonals festgelegt und ein *Abrechnungsmodus* für die untereinander erbrachten Leistungen bestimmt. Zur Abrechnung der jeweiligen Instandhaltungsleistungen müssen zudem *Stundenverrechnungssätze* vereinbart werden. In diesem Zusammenhang ist auch zu prüfen, inwieweit sich die individuelle Entlohnung der einzelnen Instandhaltungsmitarbeiter der beteiligten Kooperationspartner unterscheidet, um gegebenenfalls einer Personalfluktuations vorzubeugen.

In Bezug auf die gewählten Beispiele der kooperierenden Unternehmen A bis E sind für die Arbeits- und Reisezeit des Instandhaltungspersonals innerhalb der horizontalen Instandhaltungskooperation entsprechende Stundenverrechnungssätze¹ zu wählen, welche die anfallenden (Personal-) Kosten abdecken, gleichzeitig gewisse Kostenvorteile im direkten Vergleich zu den Drittunternehmen der komplementären Instandhaltungskooperation ermöglichen.

4.3.1.3 Ausdehnung, Dauer und Zutrittsmöglichkeit

Die **räumliche Ausdehnung** einer horizontalen Instandhaltungskooperation wird auf **lokale Kooperationsbeziehungen** beschränkt. Die wesentlichen Vorteile der kürzeren Reaktionszeiten und eines günstigeren Stundenverrechnungssatzes lassen sich in erster Linie innerhalb eines eingeschränkten Wirkungsbereichs erzielen. Dies gilt auch dann, wenn die Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen durch die beteiligten Kooperationspartner vor Ort etwas länger dauert als sie möglicherweise durch die Drittunternehmen der komplementären Instandhaltungskooperation dauern würde.

Eine sinnvolle Zusammenarbeit der kooperierenden Unternehmen erfolgt, wenn die horizontale Instandhaltungskooperation **zeitlich unbegrenzt** angelegt ist. Dadurch lassen sich umfangreichere Instandhaltungsmaßnahmen längerfristig planen und realisieren. Ein Vertrauensverhältnis zwischen den beteiligten Kooperationspartnern entsteht und tätigkeitsspezifische Erfahrungen werden gesammelt. Der **Zutritt** zu einer horizontalen Instandhaltungskooperation ist nach **vorheriger Aufnahme** durch die bereits beteiligten Kooperationspartner möglich. Dabei wird die Kompatibilität eines potenziellen Kooperationspartners geprüft, sodass sich neben der Akzeptanz auch ein schneller wechselseitiger Nutzen für alle Kooperationspartner einstellen kann.

Der Wirkungsbereich der gewählten Beispielunternehmen liegt für die kooperierenden Unternehmen innerhalb von etwa 25,0 km. Die größte Entfernung liegt dabei zwischen den Unternehmen A, C und E mit jeweils 22,5 km; die kürzeste Entfernung liegt zwischen den Unternehmen B und D mit nur 4,0 km vor. Die Reaktionszeit² von verfügbarem Instandhaltungspersonal der kooperierenden Partnerunternehmen sollte dadurch unterhalb der Reaktionszeiten von Drittunternehmen der komplementären Instandhaltungskooperation liegen (vgl. Tabelle C.21 in Kapitel C.4.3 im Anhang).

4.3.1.4 Zielidentität und Fähigkeit

Die beteiligten Unternehmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation verfolgen mit **redistributiv** aufeinander **abgestimmten Zielen** die gemeinsame Sicherstellung der Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten. Dabei streben die Unternehmen eine betriebspezifisch erforderliche Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der technischen Einheiten bei minimalen Instandhaltungskosten oder eine höhere Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit bei gleichbleibenden bzw. geringeren Instandhaltungskosten an.

Durch die Bündelung von Instandhaltungsressourcen und die gegenseitige Unterstützung bei der Instandhaltung ist ein Ausgleich von fehlendem Instandhaltungsvermögen realisierbar. Möglicherweise ist dazu eine Aufstockung von Instandhaltungskapazitäten erforderlich. Die sich aus der Zusammenarbeit ergebenden **Synergien**, die im Sinne einer Gemeinschaftswirkung über die Summe der jeweiligen Einzelleistungen hinausgehen können, bewirken in einer **synergetischen Kooperation** einen wechselseitigen Nutzen für alle beteiligten Partner. Ebenso können sich durch die Zusammenlegung

¹ *Stundenverrechnungssatz* – Der Vereinfachung halber wird für die nachfolgenden Fallbeispiele und der späteren Simulation mit einem einheitlichen Stundenverrechnungssatz für alle an der Kooperation beteiligten Unternehmen bzw. Instandhaltungsmitarbeiter von 65,- €/h gerechnet.

² *Reaktionszeit* – Für die gewählten Beispielunternehmen A bis E wird eine durchschnittliche Reaktionszeit von 2,0 h veranschlagt, damit die Instandhaltungsmitarbeiter des Kooperationspartners noch begonnene Tätigkeiten im eigenen Unternehmen abschließen und notwendiges Ausrüstungsmaterial (Werkzeug, Computer, Hilfsmittel usw.) vorbereiten können. In den 2,0 h ist auch die Anreise zum betreffenden Partnerunternehmen enthalten.

einzelner Instandhaltungsprozesse optimierende Effekte einstellen, die in einer **additiven Kooperation** einen gemeinschaftlichen Nutzen für alle beteiligten Partner ermöglichen.

Bezogen auf die Beispielunternehmen heißt das: Die Instandhaltungsmitarbeiter der Unternehmen A und B unterstützen die Unternehmen C, D und E bei der Instandhaltung der technischen Einheiten und gleichen das fehlende Instandhaltungsvermögen aus. Im Gegenzug vergüten die Unternehmen C, D und E die erbrachten Instandhaltungsleistungen, was aufgrund der dadurch besseren Auslastung des Instandhaltungspersonals nicht nur zur Wahrung, sondern auch zum *Aus- und Aufbau* der Instandhaltungskapazitäten bei den beteiligten Unternehmen führen kann.

4.3.1.5 Kopplung und Partneranzahl

Die partnerschaftliche Zusammenarbeit der kooperierenden Unternehmen innerhalb einer horizontalen Instandhaltungskooperation erfolgt in der Regel durch **tri- bzw. multilaterale Kopplungen**. Die beteiligten Kooperationspartner stimmen das vereinte Handeln untereinander ab und koordinieren die gemeinsame Vorgehensweise. Dies verhindert mögliche Spannungen innerhalb einer horizontalen Instandhaltungskooperation und fördert zugleich den Aufbau von Vertrauen. Damit keine Unstimmigkeiten entstehen, die für den Aufbau von Vertrauen zwischen den einzelnen Kooperationspartnern hinderlich wären, ist die Kooperation auf eine **überschaubare Teilnehmeranzahl** zu begrenzen. Ein häufiger Wechsel von Kooperationspartnern verursacht Störungen und erschwert ein schnelles und koordiniertes Handeln.

Im Falle der gewählten Beispielunternehmen erfolgt eine horizontale Instandhaltungskooperation durch fünf Unternehmen. Einerseits ist die Anzahl der kooperierenden Akteure überschaubar, sodass neben der rein fachlichen Zusammenarbeit auch eine persönliche Verbindung zwischen den Instandhaltungsmitarbeitern der Unternehmen entstehen kann. Andererseits lassen sich eventuelle Missverständnisse zwischen den Kooperationspartnern dadurch schneller lösen.

4.3.1.6 Macht, Aufbau und Beziehungsgefüge

Alle beteiligten Unternehmen sind innerhalb einer horizontalen Instandhaltungskooperation gleichberechtigte Partner. Es herrscht somit eine **heterarchische Machtverteilung** für das gemeinsame Wirken. Die einzelnen Kooperationspartner nehmen immer dann eine führende Rolle innerhalb der Kooperation ein, wenn im eigenen Unternehmen gemeinschaftliche Instandhaltungsmaßnahmen durchzuführen sind bzw. durchgeführt werden. Die Weisungsbefugnis wechselt folglich zwischen den einzelnen Kooperationspartnern, was bei einem **polyzentrischen Aufbau** der partnerschaftlichen Zusammenarbeit notwendig ist. Sinnvollerweise übernimmt dann das jeweils betroffene Unternehmen die führende Rolle für den Instandhaltungseinsatz und eine eventuelle Ersatzteilbeschaffung. Im Rahmen des heterarchisch-polyzentrischen Aufbaus einer horizontalen Instandhaltungskooperation finden je nach Bedarf zwischen den einzelnen Kooperationspartnern **komplexe, mehrseitige Kooperationsbeziehungen** statt.

In Bezug auf die Beispielunternehmen zeigt sich dies, wenn beispielsweise im Unternehmen C jeweils ein Instandhaltungsmitarbeiter des Unternehmens A und B tätig ist und verschiedene Ersatzteile benötigt werden, die wiederum im Hochregalsystem des Unternehmens D eingelagert sind. Jetzt übernimmt das Unternehmen C die führende Rolle und koordiniert den Instandhaltungseinsatz. Es finden dabei zwischen dem Unternehmen C und allen anderen *aktiv* beteiligten Kooperationspartnern (Unternehmen A, B und D) komplexe, mehrseitige Kooperationsbemühungen statt. Mit den anderen Unternehmen bzw. zwischen den anderen Unternehmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation vollziehen sich währenddessen meist nur *passive* Kooperationsbeziehungen.

In Abbildung 4.1 ist eine horizontale Instandhaltungskooperation anhand der beschriebenen Situation des Unternehmens C dargestellt.

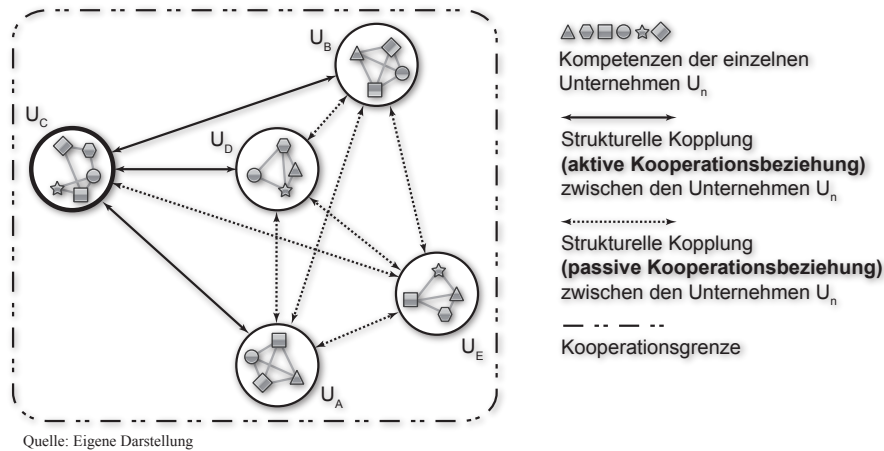


Abbildung 4.1: Horizontale Instandhaltungskooperation am Beispiel des Unternehmens C

4.3.2 Ausgestaltung der unternehmensübergreifenden Instandhaltung

4.3.2.1 Örtliche und personelle Verteilung

Die **örtliche (räumliche) Verteilung** der Instandhaltung wird durch das vorhandene Instandhaltungsvermögen der beteiligten Kooperationspartner bestimmt. Im Sinne einer horizontalen Instandhaltungskooperation ist daher die gemeinsame Instandhaltung **dezentral** gegliedert, da Instandhaltungsmitarbeiter bei den beteiligten Kooperationspartnern teilweise zur Verfügung stehen und das jeweilige Instandhaltungspersonal auch bei den beteiligten Kooperationspartnern eingesetzt werden kann.

Die **personelle Aufgabenverteilung** wird ebenfalls durch das vorhandene Instandhaltungsvermögen der kooperierenden Unternehmen bestimmt. Im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation finden daher die partnerschaftliche Zusammenarbeit zur gemeinsamen Instandhaltung der technischen Einheiten als **Verbundinstandhaltung** statt. Dabei werden die Instandhaltungsmitarbeiter der beteiligten Kooperationspartner anhand ihrer entsprechenden Fachkompetenz eingesetzt, sodass auf einen Personaleinsatz von Drittunternehmen, wie die Hersteller und Instandhaltungsdienstleister, weitgehend verzichtet werden kann.

Bezüglich der bereits beschriebenen Situation des Beispielunternehmens C zeigt sich dies dahingehend, dass einerseits Instandhaltungspersonal in den Unternehmen A und B vorhanden ist. Andererseits übernehmen diese Instandhaltungsmitarbeiter entsprechende Instandhaltungsaufgaben in Unternehmen C. Aus Sicht des Unternehmens C sind die Instandhaltungsmitarbeiter der Unternehmen A und B somit dezentral, da sie nicht im eigenen Unternehmen angestellt sind, dennoch führen sie die notwendigen Instandhaltungstätigkeiten in Unternehmen C aus.

Die Instandhaltungsmitarbeiter der Unternehmen A und B bilden dabei im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation mit den für die Instandhaltung verantwortlichen Mitarbeitern der Unternehmen C, D und E einen *Verbund aus Kompetenzträgern* für die Instandhaltung. Unabhängig davon, dass das Instandhaltungsvermögen des Unternehmens C und insbesondere jene Vermögen der Unternehmen D und E gering sind, leisten diese Unternehmen dennoch einen positiven Beitrag für die horizontale Instandhaltungskooperation. Beispielsweise können die Unternehmen C und E ihre unternehmensspezifischen Kompetenzen bei der Reproduktion oder Instandsetzung von mechanischen Bauteilen einbringen, wohingegen das Unternehmen D zweckmäßigerweise die Bewirtschaftung

tung von gemeinsamen Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. sowie von Ersatzteilen übernehmen kann. Beides geht *über* die üblichen Instandhaltungsleistungen hinaus und nutzt allen an der Kooperation beteiligten Partnern.

In Verbindung mit einer horizontalen Instandhaltungskooperation kann sich allerdings der Fall einstellen, dass verschiedene Instandhaltungsmitarbeiter von mehreren Unternehmen *gleichzeitig* angefordert werden. Ungeachtet der Anstellungsverhältnisse des Instandhaltungspersonals ist dann zu entscheiden, welche instand zu haltende technische Einheit eine höhere *Priorität* besitzt. Dabei spielen die Bedeutung³ und eine möglicherweise vorliegende Redundanz der instand zu haltenden technischen Einheiten eine große Rolle (vgl. Kapitel 4.5.1.2).

In Abbildung 4.2 ist eine Entscheidungsmatrix bezüglich der Priorität der instand zu haltenden technischen Einheiten dargestellt.

Bedeutung		niedrig	mittel	hoch
Redundanz	nein	5	3	1
	ja	6	4	2

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 4.2: Entscheidungsmatrix nach Priorität

Mit Hilfe einer für alle beteiligten Kooperationspartner gleichermaßen gültigen Regelung muss in einer solchen Situation eine Reihenfolge der Auftragsbearbeitung erstellt werden. Obgleich mit Hilfe einer Entscheidungsregel eine Festlegung der Reihenfolge nach Priorität erfolgen kann, trägt diese Vorgehensweise auch ein gewisses Konfliktpotenzial in sich. Die Bedeutung der technischen Einheiten kann von den beteiligten Kooperationspartnern sehr unterschiedlich interpretiert werden (vgl. Kapitel 4.5.1.2). In Abhängigkeit der zu erbringenden Leistungen kann sich die Bedeutung einer technischen Einheit auch kurzfristig ändern. Beispielsweise kann eine technische Einheit eine hohe Bedeutung erlangen, wenn ein besonders wichtiger Kundenauftrag bearbeitet werden muss, obwohl die technische Einheit ansonsten eine eher niedrige Bedeutung hat. Individuelle Absprachen werden daher immer notwendig sein, um einvernehmliche Lösungen zu finden. Falls es dennoch zu keiner einvernehmlichen Lösung kommt, besteht natürlich auch immer die Möglichkeit, ein Drittunternehmen (Hersteller der instand zu haltenden technischen Einheit oder einen Instandhaltungsdienstleister) einzusetzen. Zur Überbrückung von Kapazitätsengpässen können möglicherweise auch freie (Produktions-) Kapazitäten der beteiligten Kooperationspartner genutzt werden. Auch dies würde *über* die üblichen Instandhaltungsleistungen hinausgehen, allerdings dem jeweils betroffenen Unternehmen durchaus helfen.

In Abbildung 4.3 ist eine Entscheidungsregel zur Festlegung der Reihenfolge nach Priorität dargestellt.

4.3.2.2 Integration von Instandhaltungstätigkeiten

Damit sich die Instandhaltungsmitarbeiter der Verbundinstandhaltung entsprechend ihrer Tätigkeitsschwerpunkte und Fachkompetenz auf **komplexere Instandhaltungsaufgaben** konzentrieren

³ *Bedeutung* – Als Bedeutung wird in diesem Zusammenhang die Wichtigkeit, Relevanz oder der Stellenwert einer technischen Einheit gegenüber anderen technischen Einheiten in einem definierten Kontext verstanden (vgl. Kapitel 4.5.1.2). Je höher die Bedeutung einer technischen Einheit im Leistungserstellungsprozess ist, umso mehr muss diese technische Einheit beachtet werden und umso größer wären die (finanziellen) Auswirkungen bei Nichtbeachtung der entsprechenden technischen Einheit.

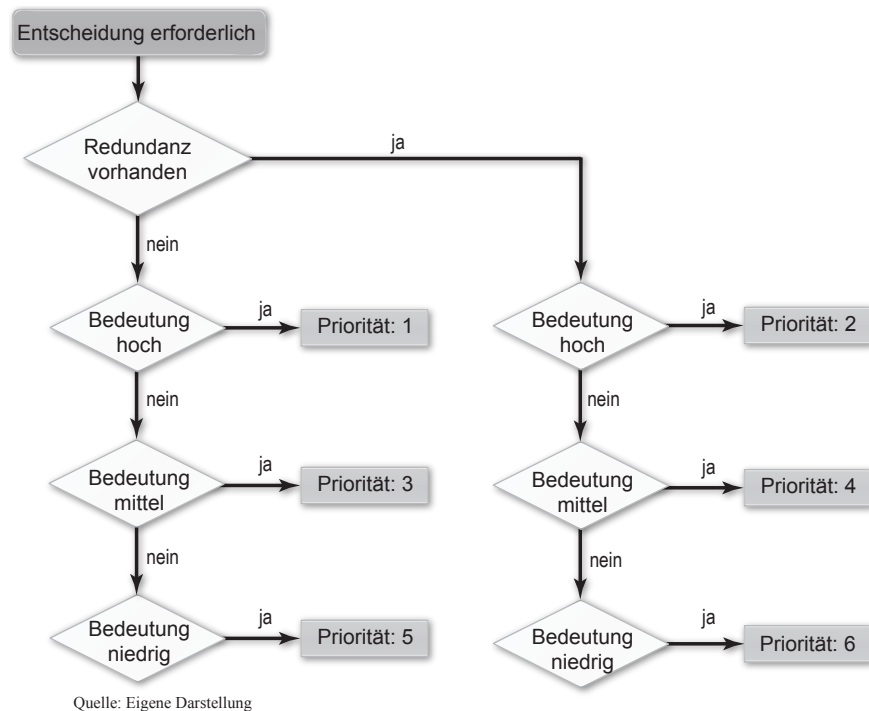


Abbildung 4.3: Entscheidungsregel zur Festlegung einer Reihenfolge nach Priorität

können bzw. Freiraum für die unternehmensübergreifende Instandhaltung haben, werden einfache Wartungs- und Routinearbeiten an die Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten übertragen. Die Integration von Instandhaltungsaufgaben setzt allerdings ein gewisses Verständnis bzw. Interesse für die Instandhaltung sowie freiwilliges Engagement der Produktionsmitarbeiter und Bediener voraus. Das Instandhaltungspersonal muss daher eng mit den Produktionsmitarbeitern und Bedienern zusammenarbeiten und sie in einfache Wartungs-, Inspektions- und Instandsetzungsaufgaben (Routinearbeiten) einweisen. Allerdings können selbst angelernte Hilfskräfte sehr schnell und sicher begrenzte Aufgaben bei der Instandhaltung ausführen [vgl. Prash, 2010, S. 15] nach [Shanthikumar u. Rachamadugu, 1991, S. 755-768], sodass die Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten schon nach kurzer Einarbeitungszeit kleinere Störungen und Ausfälle selbstständig beseitigen können. Dies setzt jedoch voraus, dass den Produktionsmitarbeitern und Bedienern der technischen Einheiten die entsprechende Zeit zur Verfügung steht und sie nicht für andere Produktionsaufgaben eingesetzt werden. Der Transfer von Instandhaltungswissen und tätigkeitsspezifischen Erfahrungen begünstigt dabei die autonome Instandhaltung.

In Bezug auf die Beispielunternehmen können durch die Integration von Instandhaltungsaufgaben kleinere Störungen und Ausfälle unabhängig von vorhandenem Instandhaltungspersonal beseitigt bzw. Wirkung reduziert werden. Bei den Unternehmen C, D und E werden die Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten mit Hilfe von Schulungsmaßnahmen für die Instandhaltung sensibilisiert. Dadurch können sie die Verantwortung für einfache Wartungs- und Routinearbeiten übernehmen, was zu einer höheren Verfügbarkeit der technischen Einheiten führen kann und als Nebeneffekt zu einer höheren Motivation der Produktionsmitarbeiter und Bediener beiträgt.

Da die kooperierenden Beispielunternehmen zum Teil ähnliche technische Einheiten (vollautomatisierte Hochregalsysteme, Bearbeitungszentren, halbautomatische Werkzeugmaschinen, Verpackungsanlagen usw.) betreiben, ist davon auszugehen, dass die Instandhaltungsmitarbeiter der Unternehmen A und B über hinreichend Fachkompetenz bzw. Spezialkenntnisse verfügen, um auch komplexe Instandhaltungsaufgaben bei den Unternehmen C, D und E durchführen zu können. Vermutlich kennen sie für häufig auftretende Störungen bereits kostengünstige und effektive Lösungen; gleichzeitig werden damit teure Instandhaltungseinsätze der Drittunternehmen reduziert.

4.3.2.3 Lagerhaltung von Ersatzteilen

Im Sinne einer horizontalen Instandhaltungskooperation ist der gemeinsame Erwerb und eine **zentrale Lagerhaltung** von speziellen Technologien, Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. wie auch von Reserveteilen – vergleichbar mit dem Anwendungsbereich Beschaffung und Materialwirtschaft – sinnvoll. Dadurch wird ein mehrfacher Erwerb bzw. die Mehrfachlagerung von kostenintensiven technischen Instandhaltungsressourcen vermieden und ein kurzfristiger Zugriff ist für alle Kooperationspartner möglich. Dennoch bleiben kleine **dezentrale Einzellager** in den einzelnen Unternehmen erhalten, um wichtige Verschleiß- und Kleinteile zu bevorraten. Durch die verminderte Kapitalbindung lassen sich Kosten reduzieren, ohne dass dabei die Verfügbarkeit der technischen Einheiten beeinflusst wird. Daher findet bei einer horizontalen Instandhaltungskooperation sinnvollerweise eine **Kombination** von zentraler und dezentraler Lagerhaltung für Ersatzteile statt.

Bezüglich der Beispielunternehmen ist es sinnvoll, die Ersatzteile gemeinsam zu definieren, zu beschaffen und sie hauptsächlich zentral zu lagern. Bei den Unternehmen A und D handelt es sich um Ersatzteile für die Hochregal- und Fördersysteme sowie für die Verpackungsanlagen und -roboter. Im Falle der Unternehmen B, C, D und E sind dies insbesondere Ersatzteile für die Werkzeugmaschinen, (Blech-) Bearbeitungszentren und gegebenenfalls für die Kunststoffspritzgussanlagen sowie die Laserschweißanlage. Ebenso gilt dies für spezielle Technologien, wie beispielsweise Messgeräte zur Schwingungsmessung, Kameras zur Thermographie, Programmiergeräte für speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw., die zur Instandhaltung benötigt werden, aber aufgrund des unregelmäßigen Einsatzes für die einzelnen Unternehmen allein sehr kostenintensiv sind.

4.3.2.4 Nutzung von IPS-Systemen

Eine horizontale Instandhaltungskooperation verursacht einen gewissen Aufwand in der Organisation, Durchführung und dem Controlling der gemeinsamen Instandhaltung. Ebenso ist ein gewisser Informationsfluss zu verzeichnen, der zwischen den Kooperationspartnern fließen muss. Dabei kann allerdings nicht immer davon ausgegangen werden, dass jedes der kooperierenden Unternehmen über ein computergestütztes System verfügt, welches es bei der Planung und Steuerung der Instandhaltung unterstützt. Gerade bei KMU findet meist **keine Nutzung** eines computergestützten Systems zur Instandhaltungsplanung und -steuerung (IPS-System) statt, sodass die partnerschaftliche Zusammenarbeit hauptsächlich nach mündlichen Absprachen oder mit Hilfe herkömmlicher informationstechnischer Mittel erfolgt. Stehen jedoch in den kooperierenden Unternehmen **dezentrale IPS-Systeme** zur Verfügung, so ist es sinnvoll, diese Systeme auch zur Unterstützung einzusetzen, um das gemeinsame Handeln zu begünstigen.

Bezogen auf die Beispielunternehmen finden zwischen den kooperierenden Unternehmen überwiegend mündliche Absprachen statt. Als Kommunikationsmittel dienen hauptsächlich das Telefon (Festnetz- und Mobiltelefon) sowie E-Mail. Zur Ermittlung von Instandhaltungsdaten und -informationen bzw. zu deren Übertragung kommen eigene Lösungen in Verbindung mit Büroanwendungsprogrammen zum Einsatz.

4.4 Erfolgsaussichten einer horizontalen Instandhaltungskooperation

Zu den Erfolgsaussichten einer horizontalen Instandhaltungskooperation gibt es keine eindeutigen Aussagen – weder in der Theorie der partnerschaftlichen Zusammenarbeit noch aus der betrieblichen Praxis. Der **Nutzen**, den die Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation für die beteiligten Unternehmen leisten kann, muss daher erst noch ermittelt werden.

Eine erste, rein qualitative Einschätzung erfolgt daher mit Hilfe einer *Nutzwertanalyse*, die nach einer entsprechenden Anpassung ein dafür geeignetes Instrumentarium darstellt.

In Kapitel B.1 im Anhang sind die **Grundlagen der Nutzwertanalyse** erläutert.

4.4.1 Einschätzung der Erfolgsaussichten

Zur **Einschätzung der Erfolgsaussichten** einer horizontalen Instandhaltungskooperation wird nicht ein Vergleich der verschiedenen Vorgehensweisen bei der Instandhaltung durchgeführt, sondern es werden die Auswirkungen, die sich durch die Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation einstellen können, in den positiv besetzten **Hauptkategorien Stärken** und *Chancen* sowie in den negativ besetzten **Hauptkategorien Schwächen** und *Risiken* beurteilt. Die Hauptkategorien sind wiederum in **Unterkategorien** nach *technischen, wirtschaftlichen, organisatorischen* und *sozialen Gesichtspunkten* gegliedert und mit entsprechenden Argumenten hinterlegt.

Begründet ist die Anpassung der Nutzwertanalyse darin, dass die Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation auch eine mehr oder weniger ausgeprägte Eigen- bzw. Fremdinstandhaltung umfasst (vgl. Kapitel 2.3.2.4). Der Unterschied zu einer normalen Nutzwertanalyse liegt in der Einschätzung dessen, inwieweit sich unter Anwendung der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation die entsprechenden Argumente der Haupt- und Unterkategorien auf die Einflussbereiche und Merkmale (Wertebereiche) der Unternehmen auswirken.

Das Ziel ist dabei, mit Hilfe einer systematischen Bewertung aller Argumente und nach Gegenüberstellung der Gesamtnutzenwerte der positiv und negativ besetzten Hauptkategorien je einen Erfolgsnutzenwert (absoluter Zahlenwert) für die *Stärken und Schwächen* bzw. *Chancen und Risiken* zu ermitteln. Diese Werte sollen helfen, die Erfolgsaussichten der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation einschätzen zu können.

Die einzelnen **Prozessschritte zur Erfolgseinschätzung** der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation werden im Folgenden erläutert:

1. Schritt: *Identifizieren von Wertebereichen*

Durch die Anwendung der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation ergeben sich verschieden starke Auswirkungen auf unterschiedliche Einflussbereiche/Merkmale (Wertebereiche) der Unternehmen. Die entsprechenden Wertebereiche sind daher zu identifizieren.

2. Schritt: *Gewichtung der Wertebereiche*

Abhängig von den Maßstäben, Wertvorstellungen und jeweiligen Kultur eines Unternehmens besitzen die Wertebereiche unterschiedliche Priorität. Durch die Gewichtung der einzelnen Wertebereiche ist eine Rangfolge entsprechend der Auswirkungen (normierter Gewichtungsfaktor je Wertebereich) zu bilden.

3. Schritt: *Festlegen von Argumenten*

Hinsichtlich der Hauptkategorien Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der Verbundinstandhaltung einer horizontalen Instandhaltungskooperation sind geeignete Argumente für die Bildung von Unterkategorien nach technischen, wirtschaftlichen, organisatorischen und sozialen Gesichtspunkten festzulegen.

4. Schritt: *Bestimmung der Teilnutzen*

Mit Hilfe der Argumente jeder Unterkategorie und durch Vergabe von Beurteilungspunkten ist in Verbindung mit den normierten Gewichtungsfaktoren die Güte der Auswirkungen (relativer Teilnutzen) der Verbundinstandhaltung einer horizontalen Instandhaltungskooperation auf die einzelnen Wertebereiche zu bestimmen. Die Summe der relativen Teilnutzenwerte ergibt den effektiven Teilnutzen aller Wertebereiche bezogen auf die jeweilige Unterkategorie.

5. Schritt: Ermittlung der Gesamtnutzen

Der Gesamtnutzen der jeweiligen Unterkategorie wird durch die Zusammenfassung aller Teilnutzen der einzelnen Instandhaltungsexperten ermittelt. Die Gesamtnutzenwerte dienen der Bestimmung der Erfolgsnutzenwerte der einzelnen Hauptkategorien.

6. Schritt: Bestimmung der Erfolgsnutzenwerte

Durch die Gegenüberstellung der Gesamtnutzen der positiv und negativ besetzten Hauptkategorien lassen sich Erfolgsnutzenwerte bestimmen, um die Erfolgsaussichten der Verbundinstandhaltung einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation von KMU einzuschätzen.

4.4.2 Durchführung der Erfolgseinschätzung

Zur **Durchführung der Erfolgseinschätzung** wurden 24 Instandhaltungsexperten der Branchen Automotive, Maschinen- und Anlagenbau, Gebäudemanagement, Lebensmittelindustrie, Kunststoffver- und -bearbeitung, Logistikdienstleistung, Luftfahrtindustrie, Papiererzeugung, Metallver- und -bearbeitung, Softwaredienstleistung sowie Forschung zu Rate gezogen. Als Gesprächspartner dienten Geschäftsführer bzw. Bereichsleiter, aber auch Produktions- und Instandhaltungsleiter der verschiedenen Unternehmen sowie Mitarbeiter einer Forschungseinrichtung.

In Kapitel B.2 im Anhang sind in Tabelle B.2 die an der Erfolgseinschätzung beteiligten **Instandhaltungsexperten** aufgelistet.

In mehreren Arbeitstreffen und in unterschiedlicher Zusammensetzung wurde die Verbundinstandhaltung einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation sehr ausführlich und besonders kritisch diskutiert. Die tatsächliche Einschätzung der Erfolgsaussichten der Verbundinstandhaltung einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation von KMU fand schlussendlich durch 15 Instandhaltungsexperten mit Hilfe eines Bewertungsformulars statt.

1. Identifizieren von Wertebereichen

Als bedeutende Einflussbereiche und Merkmale der Unternehmen wurden von den befragten Instandhaltungsexperten **sieben Wertebereiche (WB₁ - WB₇)** identifiziert. Diese werden nach deren Einschätzung durch die Anwendung der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation besonders stark beeinflusst:

- Die **Instandhaltungsobjekte (WB₁)** spielen innerhalb des Leistungserstellungsprozesses eine maßgebliche Rolle. Die Entwicklung zu immer komplexeren, hoch automatisierten und verketteten technischen Einheiten macht sie sehr störanfällig. Eine hohe Produktivität ist daher nur erreichbar, wenn die technischen Einheiten hinreichend verfügbar und zuverlässig einsetzbar sind. Eine schnelle und professionelle Instandhaltung auf hohem Niveau beeinflusst die Einsatzfähigkeit der technischen Einheiten in besonderer Weise.
- Durch den **Leistungserstellungsprozess (WB₂)** erfolgt die Kombination von Produktionsfaktoren. Je besser der Leistungserstellungsprozess vonstatten geht, desto höher sind dessen Produktivität und Qualität, die wiederum den Erfolg und die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen beeinflussen. Eine permanente Verbesserung des Leistungserstellungsprozesses bedingt ein umfassendes und aktuelles Wissen zur Justierung der Prozessparameter.
- Die **Effektivität der Instandhaltung (WB₃)** beschreibt die Wirksamkeit der durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen, die eine schnelle Rückführung der instand zu haltenden technischen Einheiten in den Leistungserstellungsprozess beeinflussen. Dabei bestimmt das Instandhaltungsvermögen den tatsächlichen Umfang der zu erbringenden Instandhaltungsmaßnahmen. Kurzfristig verfügbares und mit entsprechender Fachkompetenz und Qualifikation ausgestattetes Instandhaltungspersonal stellt dabei die Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten sicher.

- Die **Kosten der Instandhaltung (WB₄)** beziffern den finanziellen Aufwand zur Sicherung der Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten. Dabei mindern sie in vollem Umfang den Unternehmenserfolg und hängen stark von der Leistungsfähigkeit der Instandhaltung ab. Je schneller und hochwertiger die Instandhaltungsleistungen erbracht werden, desto geringer fallen die Instandhaltungskosten aus. Neben den direkten Instandhaltungskosten sind auch die indirekten Instandhaltungskosten (Ausfall- und Ausfallfolgekosten) zu berücksichtigen.
- Die **Instandhaltungsmitarbeiter (WB₅)** sind im Wesentlichen für eine schnelle Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen verantwortlich. Als fachspezifische Kompetenzträger führen sie die Instandhaltung der instand zu haltenden technischen Einheiten durch und sichern damit den Erfolg sowie die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen. Neue Herausforderungen durch immer komplexer werdende technische Einheiten fordern das Instandhaltungspersonal, was eine hohe Leistungsbereitschaft, Flexibilität und Teamfähigkeit voraussetzt.
- Die **Eigenständigkeit und Flexibilität von Unternehmen (WB₆)** ermöglichen ein unabhängiges, gegebenenfalls kurzfristiges und selbstverantwortliches Handeln. Die partnerschaftliche Zusammenarbeit von Unternehmen begünstigt den Austausch von personellen und technischen Instandhaltungsressourcen und fördert Synergien oder Optimierungen zur gemeinsamen Zielerfüllung. Gleichzeitig schränkt die partnerschaftliche Zusammenarbeit den eigenen Handlungsspielraum ein, was zu Abhängigkeiten führen kann.
- Das **Image von Unternehmen (WB₇)** bezeichnet oft einen Gesamteindruck und reflektiert positive und negative Assoziationen. Häufig orientieren sich diese Assoziationen weniger an Fakten, sondern spiegeln subjektive Wahrnehmungen und Informationen wider. Der wirtschaftliche Erfolg eines Unternehmens wird dabei nicht selten durch seine Außenwirkung (Image) beeinflusst. Gleiches gilt für das Verhalten und die Leistungsbereitschaft von Mitarbeitern; innovative Prozesse, Organisationsstrukturen und Vorgehensweisen fördern die Attraktivität eines Arbeitsplatzes.

2. Gewichtung der Wertebereiche

Die Gewichtung der einzelnen Wertebereiche wurde durch die Instandhaltungsexperten anhand ihrer individuellen Wertevorstellungen durchgeführt. Als Methode zur Priorisierung der Wertebereiche kam der „Paarweise Vergleich“ zum Einsatz.

Die Gewichtung der Wertebereiche liefert im Ergebnis „normierte Gewichtungsfaktoren“ für jeden Wertebereich. Sie geben Aufschluss darüber, welchen Einflussbereichen und Merkmalen die befragten Instandhaltungsexperten der Unternehmen in Bezug auf mögliche Auswirkungen der betrieblichen Instandhaltung mehr bzw. weniger Bedeutung schenken.

- Den **objekt- und prozessbezogenen Wertebereichen** der *Instandhaltungsobjekte (WB₁)* werden 15,4 % und dem *Leistungserstellungsprozess (WB₂)* sogar 20,3 % der Bedeutung zugemessen.
- Den rein auf die **Instandhaltung bezogenen Wertebereichen** der *Effektivität der Instandhaltung (WB₃)* werden wiederum 16,7 %, den *Kosten der Instandhaltung (WB₄)* indes 15,1 % sowie den *Instandhaltungsmitarbeitern (WB₅)* noch 12,2 % der Bedeutung zugemessen.
- Den **unternehmensbezogenen Wertebereichen** der *Eigenständigkeit und Flexibilität von Unternehmen (WB₆)* werden nur 9,4 % und dem *Image von Unternehmen (WB₇)* wiederum 11,0 % der Bedeutung zugemessen.

In Abbildung 4.4 ist das Ergebnis der Gewichtung der einzelnen Wertebereiche in entsprechender Rangfolge dargestellt.

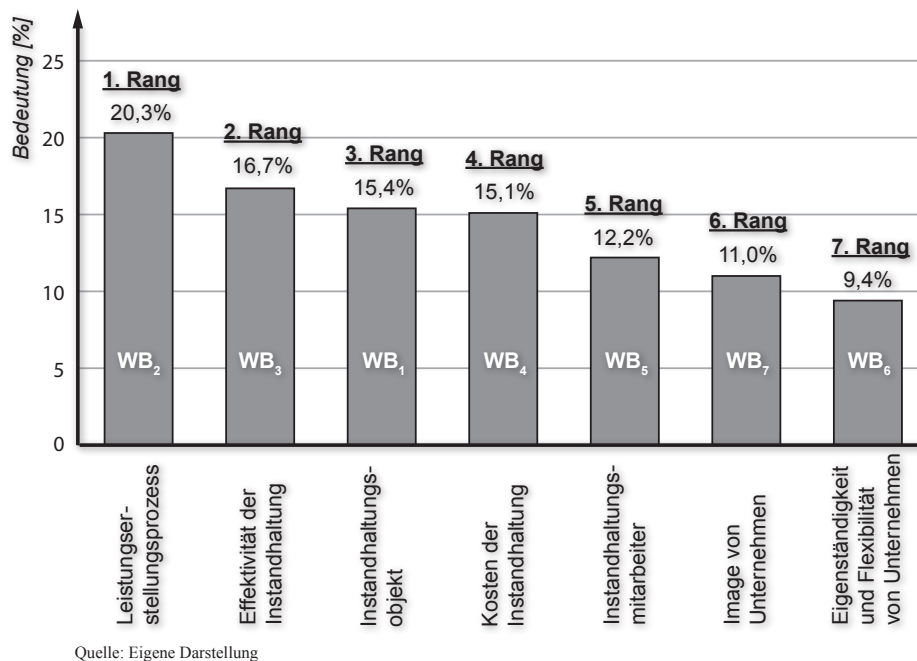


Abbildung 4.4: Priorität der Wertebereiche

In Kapitel B.3 im Anhang sind in Tabelle B.3 die exakten **Daten der Gewichtung** der Wertebereiche dargestellt.

3. Festlegen von Argumenten

Zur Beurteilung der Auswirkungen der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation auf die verschiedenen Wertebereiche der Unternehmen wurden etwa 60 Argumente von den Instandhaltungsexperten nach technischen, wirtschaftlichen, organisatorischen und sozialen Gesichtspunkten festgelegt. Die erarbeiteten Argumente der Unterkategorien sind den Hauptkategorien Stärken, Chancen, Schwächen und Risiken zugeordnet, wobei einzelne Argumente in mehreren Haupt- bzw. Unterkategorien vertreten sind.

- Die Argumente der **technischen Gesichtspunkte** bezeichnen schwerpunktmäßig die Verfügbarkeit und eine zuverlässige Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten. Überdies erfassen sie eine konstante und nachhaltige Nutzung und lange Lebensdauer der technischen Einheiten sowie einen optimalen Leistungserstellungsprozess. Darüber hinaus stehen die notwendige Fachkompetenz des Instandhaltungspersonals, der Unfall- und Arbeitsschutz sowie die Gewährleistung von Instandhaltungsleistungen im Vordergrund.
- Zu den Argumenten der **wirtschaftlichen Gesichtspunkten** zählen diejenigen, welche die direkten und indirekten Instandhaltungskosten, die Lebenszykluskosten der technischen Einheiten und monetäre Schäden durch Informations- und Geheimnisverlust maßgeblich beeinflussen. Außerdem erfassen sie den Leistungserstellungsprozess sowie die Aus- und Weiterbildung oder Fluktuation von Instandhaltungsmitarbeitern. Ferner berücksichtigen sie Kooperationsaufwendungen, die Materialwirtschaft der Ersatzteile sowie zusätzlichen Verwaltungsaufwand.
- Die Argumente der **organisatorischen Gesichtspunkte** liegen in der Flexibilisierung und Verfügbarkeitserhöhung der Instandhaltungsressourcen als auch in der Kooperationsinitiierung, -etablierung und -durchführung sowie in der Klärung der Zuständigkeiten. Au-

ßerdem beziehen sie sich auf die Verbesserung der Instandhaltungsprozesse, Materialwirtschaft der Ersatzteile und auf zusätzlichen Organisations- und Entwicklungsaufwand. Ansonsten berücksichtigen sie erhöhten Verwaltungsaufwand sowie rechtliche und versicherungstechnische Einflussfaktoren.

- Die Argumente der **sozialen Gesichtspunkte** beziehen sich vor allem auf das Instandhaltungspersonal. Dabei stehen Anforderungen und Belastungen ebenso im Vordergrund wie mögliche Auswirkungen durch Überforderung. Zudem spielen die Personalentwicklung, Beförderungs- und Verdienstmöglichkeiten sowie Anerkennung und Zufriedenheit bedeutende Rollen. Auch der Unfall- und Arbeitsschutz sowie die Teamfähigkeit und Leistungsbereitschaft finden Berücksichtigung.

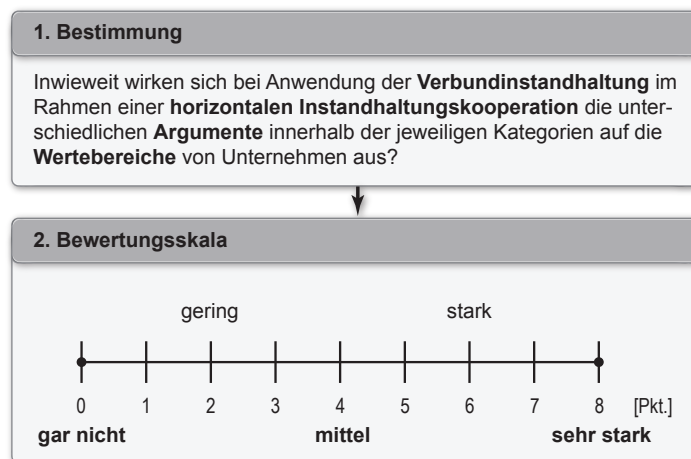
In Kapitel B.4 im Anhang sind in den Tabellen B.4 bis B.19 in Abhängigkeit der Hauptkategorien (Stärken, Chancen, Schwächen, Risiken) alle **Argumente der Unterkategorien** (technische, wirtschaftliche, organisatorische und soziale Gesichtspunkte) dargestellt.

4. Bestimmung der Teilnutzen

Die Auswirkungen, die durch die Verbundinstandhaltung einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation auf die unterschiedlichen Wertebereiche erfolgen können, wurden von den Instandhaltungsexperten durch Vergabe von Bewertungspunkten bestimmt. Dabei haben sie alle Argumente der Unterkategorien in Bezug auf die jeweiligen Wertebereiche beurteilt.

Die Vergabe der Bewertungspunkte erfolgt auf Basis einer Bewertungsskala, die 0 Punkte (gar nicht) bis 8 Punkte (sehr stark) bezüglich der Auswirkungen der einzelnen Argumente zuließ. Zur Bestimmung der relativen Teilnutzenwerte gingen aufgrund einer unterschiedlichen Anzahl von Argumenten pro Unterkategorie die Mittelwerte der Bewertungspunkte (normierte Bewertungspunkte) ein.

In Abbildung 4.5 ist die Bewertungsskala zur Bestimmung der Teilnutzen dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 4.5: Bewertungsskala zur Teilnutzenbestimmung

Die Bestimmung der **relativen Teilnutzenwerte** gibt Aufschluss darüber, in welchem Umfang sich die jeweiligen Argumente der Unterkategorien (vgl. Kapitel B.4) auf die einzelnen Wertebereiche auswirken.

Die Summe der relativen Teilnutzenwerte bildet wiederum den **effektiven Teilnutzenwert** für *alle* Wertebereiche der entsprechenden Unterkategorie in Bezug auf die jeweilige Hauptkategorie, wie durch Gleichung (4.1) ausgedrückt:

$$TN_i(HK_x(UK_y)) = \sum_{k=1}^l \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ijk} \right) \cdot G_{norm_{ik}} \quad (4.1)$$

- mit:
- TN_i - Teilnutzenwert des Experten i der Unterkategorie UK_y mit $y \in \{a, \dots, d\}$ bezogen auf die Hauptkategorie HK_x mit $x \in \{I, \dots, IV\}$
 I - Stärken, II - Chancen, III - Schwächen, IV - Risiken
 a - technische Gesichtspunkte, b - wirtschaftliche Gesichtspunkte,
 c - organisatorische Gesichtspunkte, d - soziale Gesichtspunkte
 - a_{ijk} - Bewertungspunkte des Experten i für das Argument j bezogen auf den Wertebereich k
 - $G_{norm_{ik}}$ - Normierter Gewichtungsfaktor des Experten i bezogen auf den Wertebereich k
 - i - Laufindex der Experten ($1, \dots, m$; m = Anzahl der Experten)
 - j - Laufindex der Gesichtspunkte ($1, \dots, n$; n = Anzahl der Argumente)
 - k - Laufindex der Wertebereiche ($1, \dots, l$; l = Anzahl der Wertebereiche)

In Kapitel B.5.1 im Anhang sind in den Tabellen B.20 bis B.35 die exakten **Daten der Teilnutzenbestimmung** dargestellt.

5. Ermittlung der Gesamtnutzen

Die Zusammenfassung der effektiven Teilnutzenwerte aller Instandhaltungsexperten ergibt den Gesamtnutzen der entsprechenden Unterkategorie in Bezug auf die jeweilige Hauptkategorie, wie durch Gleichung (4.2) ausgedrückt:

$$GN(HK_x(UK_y)) = \sum_{i=1}^m TN_i \quad (4.2)$$

- mit:
- GN - Gesamtnutzenwert der Unterkategorie UK_y mit $y \in \{a, \dots, d\}$ bezogen auf die Hauptkategorie HK_x mit $x \in \{I, \dots, IV\}$
 I - Stärken, II - Chancen, III - Schwächen, IV - Risiken
 a - technische Gesichtspunkte, b - wirtschaftliche Gesichtspunkte,
 c - organisatorische Gesichtspunkte, d - soziale Gesichtspunkte
 - i - Laufindex der Experten ($1, \dots, m$; m = Anzahl der Experten)

Die **Gesamtnutzenwerte** zeigen, inwieweit sich nach Meinung der Instandhaltungsexperten die Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation auf die unterschiedlichen Wertebereiche der Unternehmen auswirken kann.

- Den **technischen Gesichtspunkten** werden besondere Stärken (81,80 Pkt.) zugemessen, wobei die Instandhaltungsexperten darin auch große Chancen (76,17 Pkt.) sehen. Sie erkennen in den technischen Gesichtspunkten allerdings auch Schwächen (56,14 Pkt.) und gewisse Risiken (53,47 Pkt.) für die beteiligten Unternehmen.
- Den **wirtschaftlichen Gesichtspunkten** werden ebenfalls besondere Stärken (78,93 Pkt.) zugemessen. Die Instandhaltungsexperten sehen in den wirtschaftlichen Gesichtspunkten weitere Chancen (73,67 Pkt.), jedoch auch Schwächen (58,61 Pkt.) bzw. Risiken (55,99 Pkt.) für die beteiligten Kooperationspartner.
- Den **organisatorischen Gesichtspunkten** messen die Instandhaltungsexperten mittlere Stärken (69,83 Pkt.), aber besonders große Chancen (79,83 Pkt.) bei. Sie sehen in den wirtschaftlichen Gesichtspunkten auch Schwächen (57,37 Pkt.) und Risiken (58,11 Pkt.) für die kooperierenden Unternehmen.
- Die **sozialen Gesichtspunkten** werden als große Stärken (71,64 Pkt.) betrachtet. Die Instandhaltungsexperten erkennen darin zudem große Chancen (71,40 Pkt.), allerdings rechnen sie ihnen auch Schwächen (56,06 Pkt.) und Risiken (50,73 Pkt.) zu.

Insgesamt wird deutlich, dass die Instandhaltungsexperten den Unterkategorien der positiv belegten Hauptkategorien (Stärken, Chancen) eine höhere Punktzahl des jeweiligen Gesamtnutzens beimesen, als den Unterkategorien der negativ belegten Hauptkategorien (Schwächen, Risiken).

In Abbildung 4.6 sind die Ergebnisse der Gesamtnutzenermittlung dargestellt.

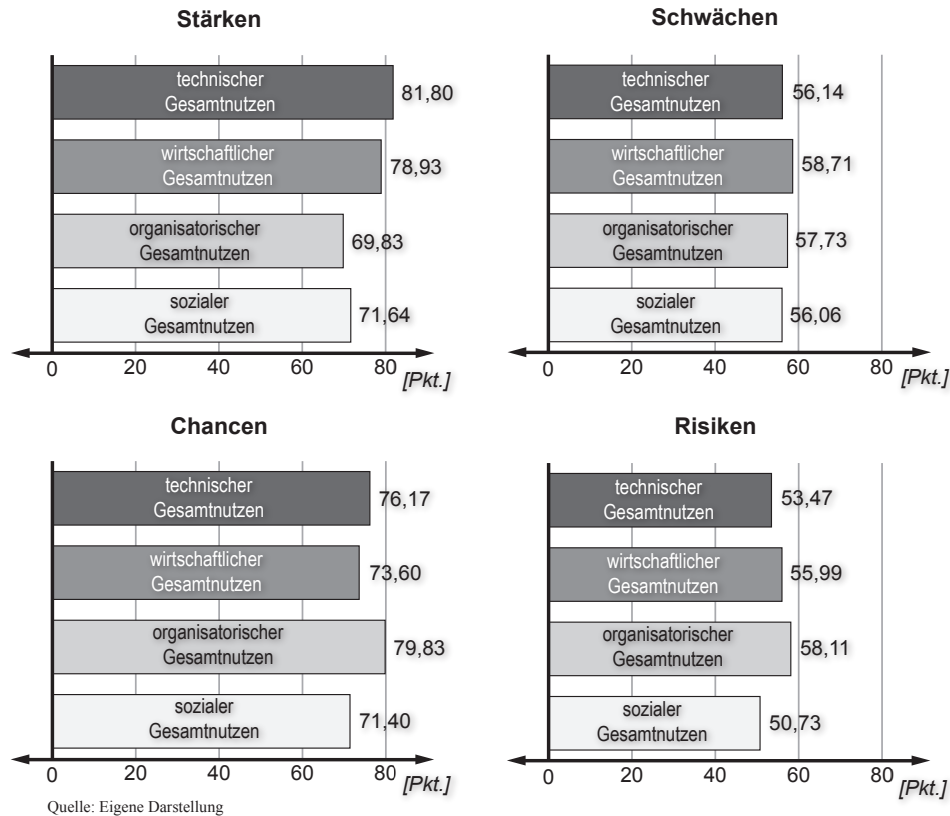


Abbildung 4.6: Ergebnisse der Gesamtnutzenermittlung

In Kapitel B.5.1 im Anhang sind in Tabelle B.36 die exakten **Daten der Gesamtnutzenermittlung** dargestellt.

6. Bestimmung der Erfolgsnutzenwerte

Mit Hilfe einer Gegenüberstellung der Gesamtnutzenwerte der positiv besetzten Hauptkategorien *Stärken* und *Chancen* und der negativ besetzten Hauptkategorien *Schwächen* und *Risiken* werden die *Erfolgsnutzenwerte* hinsichtlich der positiv und der negativ besetzten Hauptkategorien bestimmt, wie durch Gleichung (4.3) und Gleichung (4.4) ausgedrückt:

$$EN_{HK_{I,III}}(UK_y) = GN(HK_I(UK_y)) - GN(HK_{III}(UK_y)) \quad (4.3)$$

$$EN_{HK_{II,IV}}(UK_y) = GN(HK_{II}(UK_y)) - GN(HK_{IV}(UK_y)) \quad (4.4)$$

- mit:
- EN - Erfolgsnutzenwert der Unterkategorie UK_y mit $y \in \{a, \dots, d\}$ bezogen auf die Hauptkategorie HK_x mit $x \in \{I, \dots, IV\}$
 - I - Stärken, II - Chancen, III - Schwächen, IV - Risiken
 - a - technische Gesichtspunkte, b - wirtschaftliche Gesichtspunkte, c - organisatorische Gesichtspunkte, d - soziale Gesichtspunkte
 - i - Laufindex der Experten ($1, \dots, m$; m = Anzahl der Experten)

In Abbildung 4.7 ist die Systematik des Erfolgsnutzenwertes dargestellt.

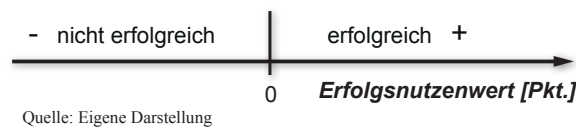


Abbildung 4.7: Systematik des Erfolgsnutzenwertes

Die **Erfolgsnutzenwerte** der einzelnen Unterkategorien zeigen unter Berücksichtigung der negativ besetzten Hauptkategorien, dass ausschließlich die positiv besetzten Hauptkategorien dominieren. Die Instandhaltungsexperten schätzen somit die Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation als erfolgreich und mit positivem Nutzen für alle beteiligten Unternehmen ein.

- Den **technischen Gesichtspunkten** werden dabei besondere Stärken (25,66 Pkt.) und große Chancen (22,70 Pkt.) zugemessen.
- Ebenso werden den **wirtschaftlichen Gesichtspunkten** besondere Stärken (20,32 Pkt.), aber auch große Chancen (17,68 Pkt.) bestätigt.
- Den **organisatorischen Gesichtspunkten** werden mittlere Stärken (12,46 Pkt.), insbesondere aber große Chancen (21,72 Pkt.) attestiert.
- Den **sozialen Gesichtspunkten** werden auch mittlere Stärken (15,58 Pkt.), allerdings große Chancen (20,67 Pkt.) zugemessen.

In Abbildung 4.8 sind die Ergebnisse der Erfolgsnutzenwertbestimmung dargestellt.

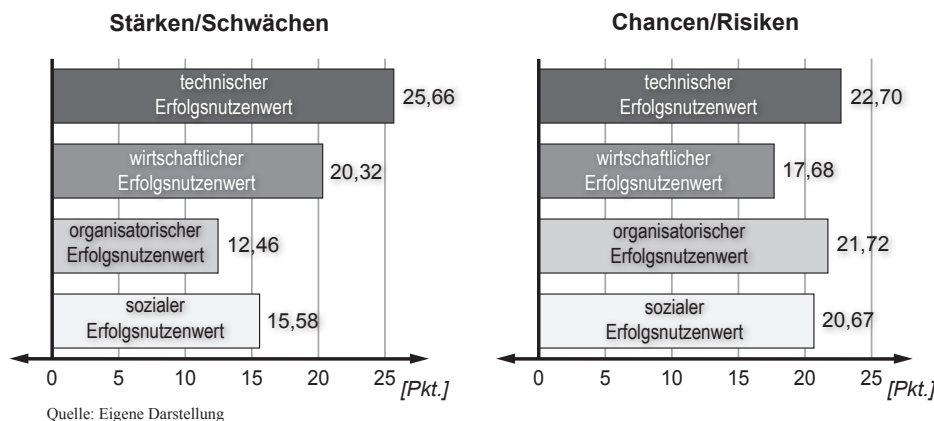


Abbildung 4.8: Ergebnisse der Erfolgsnutzenwertbestimmung

In Kapitel B.5.2 im Anhang sind in den Tabellen B.37 und B.38 die exakten **Daten der Erfolgsnutzenwertbestimmung** dargestellt.

4.4.3 Interpretation der Ergebnisse

Die Einschätzung der Erfolgsaussichten einer horizontalen Instandhaltungskooperation zeigt, dass der partnerschaftlichen Zusammenarbeit im Bereich der Instandhaltung ein großer Nutzen für die beteiligten KMU zugemessen werden. Die befragten Instandhaltungsexperten haben die Stärken, Chancen, Schwächen und Risiken einer horizontalen Instandhaltungskooperation mit Hilfe von technischen, wirtschaftlichen, organisatorischen und sozialen Gesichtspunkten bewertet. Anhand der Gesamtnutzenwerte der einzelnen Hauptkategorien ist zu erkennen, dass sie in der partnerschaftlichen

Zusammenarbeit von KMU und der gleichzeitigen Bündelung von Instandhaltungsressourcen und Fachkompetenz deutlich mehr Stärken und Chancen als Schwächen und Risiken für die beteiligten Unternehmen sehen.

Die befragten Instandhaltungsexperten betrachten die Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation als sinnvolle Alternative zur Eigen- und Fremdinstandhaltung der komplementären Instandhaltungskooperation. Das größte Nutzenpotenzial wird dabei entsprechend der Erfolgsnutzenwerte den technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten eingeräumt. Die Instandhaltungsexperten erwarten aber auch in den organisatorischen und sozialen Gesichtspunkten einen sehr positiven Nutzen.

Insgesamt gehen die Instandhaltungsexperten davon aus, dass die partnerschaftliche Zusammenarbeit von KMU im Bereich der Instandhaltung besondere Stärken hat und daher große Chancen zur Verbesserung der betrieblichen Instandhaltung bei KMU bietet. Von einer intensiveren Instandhaltung erwarten sie eine Steigerung des Instandhaltungsniveaus, wodurch eine zuverlässige Funktions- und Leistungsfähigkeit und somit eine betriebsspezifisch erforderlich hohe Verfügbarkeit der technischen Einheiten gewährleistet werden kann. Gleichzeitig gehen die Instandhaltungsexperten von geringeren Instandhaltungskosten aus, was neben einer Verbesserung der Finanzsituation durch eine Gewinnerhöhung bzw. einer geringeren Verschuldung letztendlich auch zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen führen kann.

4.5 Durchführung einer horizontalen Instandhaltungskooperation

Zur Durchführung einer horizontalen Instandhaltungskooperation ist zunächst eine Bestimmung der personellen und technischen Gegebenheiten in den beteiligten Unternehmen notwendig. Dadurch ist es möglich, eine Klassifizierung der technischen Einheiten vorzunehmen und das vorhandene Instandhaltungspersonal entsprechend seiner Fachkompetenz einzusetzen. Die Anwendung der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation wird dann anhand der geplanten und nicht geplanten Instandhaltung demonstriert. Dazu werden verschiedene Fallbeispiele entwickelt, um die Verbundinstandhaltung bzw. verschiedene Kombinationsvarianten mit Drittunternehmen (Fremdinstandhaltung) hinsichtlich den anfallenden Instandhaltungskosten und der Ausfallzeiten der technischen Einheiten zu untersuchen. Mit Hilfe einer Simulation wird anschließend die Leistungsfähigkeit der Verbundinstandhaltung über einen längeren Zeitraum hinweg in verschiedenen Konstellationen überprüft, um belastbare Ergebnisse hinsichtlich der zu erwartenden Wirkung auf die Instandhaltungskosten und der Verfügbarkeit der technischen Einheiten zu erhalten.

4.5.1 Bestimmung der personellen und technischen Gegebenheiten

Die Realisierung einer horizontalen Instandhaltungskooperation erfordert die genaue Kenntnis darüber, welche personellen und technischen Gegebenheiten bei den beteiligten Kooperationspartnern vorliegen. Deshalb ist es notwendig, die vorhandenen Instandhaltungsmitarbeiter bzw. diejenigen Mitarbeiter, die mit Instandhaltungsaufgaben betraut sind, zu erfassen und deren Fachkompetenz hinsichtlich der Instandhaltung zu bestimmen. Darüber hinaus müssen auch die instand zu haltenden technischen Einheiten erfasst sowie deren technologische Beschaffenheit und weitere betriebsspezifische Einzelheiten bestimmt werden. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse ist dann eine Klassifizierung der instand zu haltenden technischen Einheiten möglich. Daraufhin ist wiederum die zielgerichtete und anforderungsgerechte Zuordnung des Instandhaltungspersonals möglich.

4.5.1.1 Personelle Instandhaltungsressourcen

Aufgrund der zunehmenden Automatisierung, Verkettung und Komplexität von technischen Einheiten ist immer umfassendere Fachkompetenz erforderlich. Das Instandhaltungspersonal benötigt daher Fachkenntnisse und zusätzliches Spezialwissen, das im Regelfall nach Tätigkeitsschwerpunkten entsprechend der Berufsgruppen gegliedert ist.

In Abbildung 4.9 sind die Tätigkeitsschwerpunkte der Instandhaltung und verschiedene Berufsgruppen dargestellt.

Tätigkeitsschwerpunkte	Fachkenntnisse	Berufsgruppen (Beispiele)
Mechanische Instandhaltung	Mechanik, Hydraulik, Pneumatik	Betriebsschlosser, Maschinenschlosser, Industriemechaniker, Feinmechaniker
Elektrische Instandhaltung	Elektrik, Elektronik	Elektroanlagenmonteur, Mechatroniker, Industrieelektroniker
Steuerungs- und Automatisierungstechnik	System- und Regelungstechnik	Systemtechniker, Mess- und Regelungstechniker, Automatisierungstechniker
Software- und Informationstechnik	Softwareentwicklung, Programmierung, Netzwerkadministration	Systemelektroniker, Kommunikationstechniker, Informatiker, Netzwerktechniker

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 4.9: Tätigkeitsschwerpunkte der Instandhaltung und Berufsgruppen

Neben den Fachkenntnissen dient auch das Qualifikationsniveau zur Einstufung des Instandhaltungspersonals [nach Rötzel, 2005, S. 91]:

- **Hilfskraft** (Qualifikationsniveau – niedrig)
Tätigkeitsunterwiesen in begrenzten Aufgaben bzw. angelernt zur Durchführung von bestimmten Instandhaltungsaufgaben.
- **Fachkraft** (Qualifikationsniveau – mittel)
Fachkundig mit entsprechender Berufsausbildung und theoretischem und praktischem Grundlagenwissen sowie mit Erfahrungen in allgemeinen Instandhaltungsaufgaben.
- **Spezialisierte Fachkraft – Spezialist** (Qualifikationsniveau – hoch)
Spezialkundig mit zusätzlichen Spezialkenntnissen, die über das Grundlagen- und Erfahrungswissen einer Fachkraft hinausgehen und für besondere Instandhaltungsaufgaben unerlässlich sind.

Des Weiteren sind betriebs- und verfahrensspezifische Prozesskenntnisse von großer Bedeutung. Auch persönliche Eigenschaften der einzelnen Mitarbeiter spielen eine große Rolle. In Bezug auf die Instandhaltung handelt es sich um folgende Eigenschaften [nach Ndouma, 1997, S. 33-34]:

- Hohes Leistungsvermögen
- Gute Arbeitsqualität
- Hohe Motivation
- Hohe Zuverlässigkeit
- Flexibilität
- Teamfähigkeit
- Kommunikationsfähigkeit
- Verantwortungsbewusstsein

Die Bestimmung der vorhandenen Fachkompetenz erfolgt mit Hilfe einer Kompetenz- und Qualifikationstabelle (engl. Skills-Matrix). Dabei werden zunächst die zur Verfügung stehenden Instandhaltungsmitarbeiter bzw. diejenigen Mitarbeiter, die mit Instandhaltungsaufgaben betraut sind, erfasst.

Zugleich wird ermittelt, welche Fachkenntnisse die einzelnen Mitarbeiter bezüglich der Instandhaltung besitzen und welchem Qualifikationsniveau ihre Kenntnisse entsprechen. Im Anschluss findet eine fachliche Einstufung des Instandhaltungspersonals entsprechend der vorhandenen Fachkenntnisse und des Qualifikationsniveaus statt.

In Tabelle 4.1 ist die vorhandene Fachkompetenz des Instandhaltungspersonals der Beispielunternehmen A bis E dargestellt.

Tabelle 4.1: „Skills-Matrix“ des Instandhaltungspersonals der Beispielunternehmen

	Mechanische Instandhaltung	Elektrische Instandhaltung	Steuerungs- und Automatisierungstechnik	Software- und Informationstechnik	Prozess- kenntnisse	Fachliche Einstufung
<i>Instandhaltungspersonal</i>	<i>Fachkenntnisse/Qualifikationsniveau</i>					
Mitarbeiter A₁	ja/mittel	ja/niedrig	ja/mittel	nein/ –	ja/niedrig	Fachkraft
Mitarbeiter A₂	ja/niedrig	ja/mittel	ja/mittel	ja/mittel	nein/ –	Fachkraft
Mitarbeiter B₁	ja/hoch	ja/mittel	ja/hoch	ja/mittel	ja/hoch	Spezialist
Mitarbeiter B₂	ja/hoch	ja/mittel	ja/hoch	ja/niedrig	ja/hoch	Spezialist
Mitarbeiter B₃	ja/mittel	ja/hoch	ja/hoch	ja/mittel	ja/mittel	Spezialist
Mitarbeiter B₄	nein/ –	ja/mittel	ja/hoch	ja/hoch	nein/ –	Spezialist
Mitarbeiter C₁	nein/ –	nein/ –	nein/ –	nein/ –	nein/ –	–
Mitarbeiter D₁	nein/ –	nein/ –	nein/ –	nein/ –	nein/ –	–
Mitarbeiter E₁	ja/niedrig	nein/ –	nein/ –	nein/ –	ja/hoch	Hilfskraft
Gesamtvermögen:	ja/niedrig	ja/mittel	ja/hoch	ja/mittel	ja/mittel	

Quelle: Eigene Darstellung

Die genaue Kenntnis über das Instandhaltungsvermögen der gewählten Beispielunternehmen A bis E erlaubt eine anforderungsgerechte Zuordnung der personellen Instandhaltungsressourcen zu den entsprechenden Tätigkeitsschwerpunkten. Im Hinblick auf eine horizontale Instandhaltungskooperation dient sie zudem zur Abstimmung zwischen den beteiligten Kooperationspartnern. Ebenso ermöglicht sie eine zielgerichtete Planung von Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen und bildet die Basis zur Einschätzung des zukünftigen Bedarfs an Instandhaltungspersonal. Anhand der gewählten Beispiele ist erkennbar, dass es möglicherweise einen Bedarf an Instandhaltungspersonal etwa bei Unternehmen C und D, eventuell auch bei Unternehmen E, gibt.

Bei der Zuordnung des Instandhaltungspersonals zu bestimmten Tätigkeitsschwerpunkten können Instandhaltungsmitarbeiter, die umfassende Fachkompetenz besitzen, auch mehreren Tätigkeitsschwerpunkten zugeordnet werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein Instandhaltungsmitarbeiter mit mittlerem Qualifikationsniveau auch Aufgaben eines niedrigeren Niveaus desselben Tätigkeitsschwerpunktes ausführen kann.

In Tabelle 4.2 ist die Zuordnung der Instandhaltungsmitarbeiter der gewählten Beispielunternehmen A bis E hinsichtlich ihrer Tätigkeitsschwerpunkte dargestellt.

Tabelle 4.2: Zuordnung des Instandhaltungspersonals

	Qualifikationsniveau des Instandhaltungspersonals		
	niedrig	mittel	hoch
<i>Tätigkeitsschwerpunkte</i>			
Mechanische Instandhaltung	A ₁ , A ₂ , B ₁ , B ₂ , E ₁	A ₁ , B ₁ , B ₂ , B ₃	B ₁ , B ₂
Elektrische Instandhaltung	A ₁ , A ₂ , B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄	A ₂ , B ₁ , B ₂ , B ₃	B ₃
Steuerungs- und Automatisierungstechnik	A ₁ , A ₂ , B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄	A ₁ , A ₂ , B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄	B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄
Software- und Informationstechnik	A ₂ , B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄	A ₂ , B ₁ , B ₃ , B ₄	B ₄

Quelle: Eigene Darstellung

Aufgrund der Zuordnung des Instandhaltungspersonals zu den Tätigkeitsschwerpunkten ist ein zielgerichteter und anforderungsgerechter Einsatz für bestimmte Instandhaltungsaufgaben möglich. In Bezug auf die gewählten Beispielunternehmen A bis E sind etwa für mechanische Instandhaltungstätigkeiten mit mittleren Anforderungen die Mitarbeiter A₁, B₁, B₂ und B₃ qualifiziert. Die Mitarbeiter B₁ und B₂ sind überdies für mechanische Instandhaltungsaufgaben mit hohen Anforderungen befähigt. Hingegen sind die Mitarbeiter A₂ und E₁ nur für mechanische Instandhaltungsaufgaben mit geringen Anforderungen einsetzbar. Die Mitarbeiter A₂, B₁, B₂ und B₃ sind jedoch auch für elektrische, die Mitarbeiter A₂, B₁, B₃ und B₄ sogar für steuerungs- und automatisierungstechnische sowie software- und informationstechnische Instandhaltungsaufgaben mit mittleren, zum Teil mit hohen Anforderungen qualifiziert.

4.5.1.2 Spezifizierung der technischen Einheiten

Die große Vielfalt der technischen Einheiten und deren häufig sehr unterschiedlich intensive Nutzung erfordert eine sehr differenzierte Instandhaltung. Deshalb ist es notwendig, eine Bestimmung von technischen Einheiten vorzunehmen, um möglichst schnell immer diejenigen Instandhaltungsmitarbeiter einzusetzen, welche die notwendige Fachkompetenz besitzen und gegebenenfalls auch über betriebs- und verfahrensspezifische Prozesskenntnisse verfügen. Außerdem können hinsichtlich einer horizontalen Instandhaltungskooperation vorteilhafte Gemeinsamkeiten herausgefunden bzw. bei gleichartigen technischen Einheiten eine einheitliche Durchführung der Instandhaltungsleistungen festgelegt werden [vgl. Ndouma, 1997, S. 30].

Die Bestimmung von technischen Einheiten erfolgt anhand verschiedener Kriterien, die sich auf die technischen Einheiten selbst beziehen, aber auch in Verbindung mit deren Instandhaltung stehen [nach Ndouma, 1997, S. 30-33], [vgl. Weißenbach, 2009, S. 30]:

- Die **Verfügbarkeit** beschreibt die Fähigkeit der technischen Einheiten, bestimmte Anforderungen in einem vorgeschriebenem Zeitrahmen zu erfüllen. In Abhängigkeit von den stark variierenden betriebs- und branchenspezifischen Erfordernissen ist daher die vorhandene und erforderliche Verfügbarkeit zu ermitteln.

- Der **Grad** von **Automatisierung** und **Verkettung** stehen in direktem Zusammenhang mit der **Komplexität** der technischen Einheiten. Es lassen sich daraus die notwendigen Anforderungen (Fachkompetenzen) an die Instandhaltung ableiten und gleichzeitig die Bedeutung einer technischen Einheit besser einschätzen.
- Detaillierte **Kenntnisse vom Verschleißverhalten** der technischen Einheiten sind für die Instandhaltung besonders wichtig. Davon abhängig ist die Wahl einer Instandhaltungsstrategie bzw. die Entwicklung eines speziellen Instandhaltungskonzeptes, welches einen zielgerichteten Einsatz der Instandhaltungsressourcen ermöglicht.
- Zweckmäßige **Betriebs- und Hilfsmittel** sowie notwendige **Ersatzteile** sind zur Instandhaltung der technischen Einheiten erforderlich. Zur schnellen Instandhaltungsdurchführung ist es daher wichtig, geeignete technische Instandhaltungsressourcen vor Ort zu haben bzw. sie schnellstmöglich bereitstellen zu können.
- Die **Bedeutung** der technischen Einheiten im Leistungserstellungsprozess bestimmt die erforderliche Reaktionszeit und die Qualität der Instandhaltung. Vorhandene **Redundanz** lässt zumindest in Bezug auf die Reaktionszeit einen gewissen Spielraum für die Instandhaltung zu.

In Abbildung 4.10 sind die Kriterien mit den jeweiligen Ausprägungen zur Bestimmung von technischen Einheiten dargestellt.

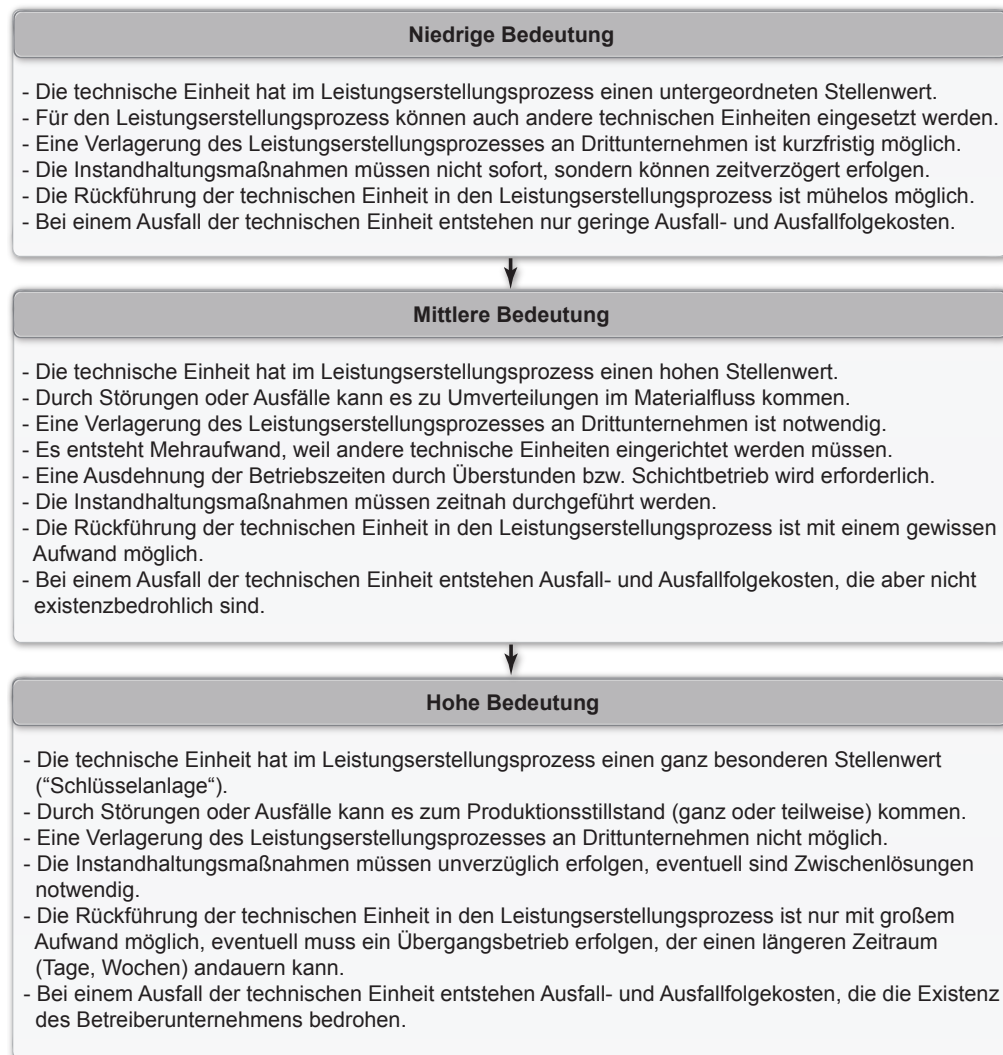
Kriterium	Ausprägung/Beurteilungspunkte		
Verfügbarkeit	niedrig: < 70%	mittel: 70-85%	hoch: > 85%
Automatisierungsgrad	niedrig: < 20% $X_{A_{grd}} = 1$	mittel: 20-50% $X_{A_{grd}} = 2$	hoch: > 50% $X_{A_{grd}} = 3$
Verkettungsgrad	niedrig: < 20% $Y_{V_{grd}} = 1$	mittel: 20-50% $Y_{V_{grd}} = 2$	hoch: > 50% $Y_{V_{grd}} = 3$
Komplexität	niedrig $Z_{K_{plx}} = 1$	mittel $Z_{K_{plx}} = 2$	hoch $Z_{K_{plx}} = 3$
Kenntnisse vom Verschleißverhalten	vorhanden: ja	vorhanden: teilweise	vorhanden: nein
Betriebs- und Hilfsmittel	vorhanden: ja	vorhanden: teilweise	vorhanden: nein
Ersatzteile	vorhanden: ja	vorhanden: teilweise	vorhanden: nein
Bedeutung	niedrig $A_{B_{dg}} = 1$	mittel $A_{B_{dg}} = 2$	hoch $A_{B_{dg}} = 3$
Redundanz	vorhanden: ja $B_{R_{dz}} = 1$	vorhanden: nein $B_{R_{dz}} = 2$	

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Ndouma, 1997, S. 32]

Abbildung 4.10: Kriterien zur Bestimmung von technischen Einheiten

Eine entscheidende Rolle bei der Bestimmung der technischen Einheiten spielt insbesondere deren Bedeutung im Leistungserstellungsprozess. Beeinflusst wird die Bedeutung der technischen Einheiten durch den zunehmenden Trend hin zu einem höheren Automatisierungsgrad, zu kapitalintensiveren technischen Einheiten, zu einem Mehrschichtbetrieb und zu abnehmenden freien Kapazitäten. Des Weiteren wird die Bedeutung der technischen Einheiten durch vermehrte Just-in-time-Belieferungen, eine Reduzierung von Materialbeständen in Zwischenlagern sowie der Durchlaufzeiten beeinflusst. In diesem Zusammenhang können Störungen und Ausfälle besonders negative Auswirkungen haben, die wiederum Einfluss auf die Bedeutung der technischen Einheiten haben.

In Abbildung 4.11 sind Eigenschaften der Bedeutung zur Bestimmung von technischen Einheiten dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 4.11: Bedeutung von technischen Einheiten

Am Beispiel des Unternehmens A erfolgt die Bestimmung an ausgewählten technischen Einheiten. Hierzu wird eine Matrix verwendet, um aus Sicht des jeweiligen Betreiberunternehmens den vorliegenden Sachverhalt mit Hilfe der oben genannten Kriterien zu erfassen. Gleichzeitig werden noch wichtige Instandhaltungsinformationen der unternehmensfremden Instandhaltungsakteure festgehalten, die für die Instandhaltung der technischen Einheiten relevant sind.

In Tabelle 4.3 ist die Bestimmung der technischen Einheiten des Beispielunternehmens A dargestellt.

Nachdem die Bestimmung der technischen Einheiten erfolgt ist, kann in Verbindung mit den gewonnenen Erkenntnissen über das Ausmaß der Fachkompetenzen der einzelnen Instandhaltungsmitarbeiter eine zielgerichtete und anforderungsgerechte Zuordnung des Instandhaltungspersonals erfolgen. Die Erkenntnisse geben außerdem darüber Aufschluss, inwieweit Instandhaltungsmaßnahmen zur Sicherung einer betriebsspezifisch erforderlichen Verfügbarkeit und zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten noch geplant werden müssen, oder ob fehlende Instandhaltungsressourcen aufgebaut werden müssen.

Tabelle 4.3: Ausgewählte technische Einheiten des Beispielunternehmens A

	Hochregal- system	Stetigförder- anlage	Verpackungs- anlage I	Verpackungs- anlage II
<i>Betriebsdaten</i>				
Bezeichnungsnummer	(A.1)	(A.2)	(A.3)	(A.4)
Mittlere Verfügbarkeit [%]	80,0	91,0	70,0	87,0
Automatisierungsgrad (X_{Agrd})	hoch (3)	mittel (2)	mittel (2)	mittel (2)
Verkettungsgrad (Y_{Vgrd})	mittel (2)	hoch (3)	niedrig (1)	niedrig (1)
Komplexität (Z_{Kplx})	hoch (3)	niedrig (1)	niedrig (1)	niedrig (1)
Kenntnisse vom Verschleiß- verhalten	nein	teilweise	teilweise	teilweise
Betriebs- und Hilfsmittel vor- handen	nein	nein	nein	nein
Ersatzteilbevorratung [%]	5	2	10	20
Bedeutung (A_{Bdg})	hoch (3)	mittel (2)	niedrig (1)	niedrig (1)
Redundanz (B_{Rdz})	nein (2)	nein (2)	ja (1)	ja (1)
Maschinenstundensatz der technischen Einheit [€/h]	82,50	4,80	42,50	28,30
<i>Instandhaltungsinformationen</i>				
Stundenverrechnungssatz der Verbundinstandhaltung [€/h]	65,00	65,00	65,00	65,00
Stundenverrechnungssatz der Hersteller [€/h]	100,00	86,00	93,00	88,00
Entfernung der Hersteller [km]	300	480	240	130
Stundenverrechnungssatz der In- standhaltungsdienstleister [€/h]	74,00	74,00	69,00	69,00
Entfernung der Instandhaltungs- dienstleister [km]	60	60	45	45

Quelle: Eigene Darstellung

In Kapitel C.1 im Anhang ist in den Tabellen C.1 bis C.4 die **Bestimmung der technischen Einheiten** der Beispielunternehmen B, C, D und E dargestellt.

4.5.1.3 Klassifizierung und Zuordnung

Eine Klassifizierung der technischen Einheiten erfolgt anhand ihrer konstruktiven Auslegung, technologischer Beschaffenheit und anhand weiterer betriebspezifischer Einzelheiten. Zu diesem Zweck wird eine **Technologie- und Instandhaltungskennzahl** (T_{IH_k}) eingeführt, die den Zusammenhang zwischen dem Automatisierungsgrad, Verkettungsgrad und der Komplexität der technischen Einheiten herstellt. Zudem erlaubt sie die Einteilung der betrachteten technischen Einheiten in **Technologie- und Instandhaltungsklassen**. Gleichzeitig drückt die Kennzahl auch das **notwendige Qualifikationsniveau** aus, welches das Instandhaltungspersonal für durchschnittliche Instandhaltungstätigkeiten an einer instand zu haltenden technischen Einheiten besitzen sollte.

Die Technologie- und Instandhaltungskennzahl T_{IH_k} errechnet sich aus den Beurteilungspunkten, die bei der Bestimmung der technischen Einheiten vergeben werden (vgl. Kapitel 4.5.1.2).

Ausgedrückt wird dieser Zusammenhang durch Gleichung (4.5):

$$T_{IH_k} = \frac{X_{Agrad} + Y_{Vgrad} + Z_{Kplx}}{3} \quad (4.5)$$

mit: X_{Agrad} Beurteilungspunkte des Automatisierungsgrads
 Y_{Vgrad} Beurteilungspunkte des Verkettungsgrads
 Z_{Kplx} Beurteilungspunkte der Komplexität

Mit Hilfe der Technologie- und Instandhaltungskennzahl T_{IH_k} ist es möglich, die technischen Einheiten zu klassifizieren und die vorhandenen Instandhaltungsmitarbeiter den Instandhaltungsaufgaben nach folgendem Schema zuzuordnen:

- **Technologie- und Instandhaltungsklasse I** ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)
Einfache technische Einheiten; meist eine *geringe Fachkompetenz* und ein *niedriges Qualifikationsniveau* des Instandhaltungspersonals (Hilfskraft) ausreichend.
- **Technologie- und Instandhaltungsklasse II** ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)
Durchschnittliche technische Einheiten; bedingen eine *durchschnittliche Fachkompetenz* und ein *mittleres Qualifikationsniveau* des Instandhaltungspersonals (Fachkraft).
- **Technologie- und Instandhaltungsklasse III** ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)
Multidimensionale technische Einheiten; erfordern eine *umfassende Fachkompetenz* und ein *hohes Qualifikationsniveau* des Instandhaltungspersonals (spezialisierte Fachkraft – Spezialist).

Am Beispiel des Unternehmens A zeigt sich, dass zur Durchführung von Instandhaltungstätigkeiten am Hochregalsystem ($T_{IH_k} = 2,67$ entspricht der T_{IH_k} -Klasse III) bzw. an der Stetigförderanlage ($T_{IH_k} = 2,00$ entspricht ebenfalls der T_{IH_k} -Klasse III) im Regelfall umfassende Fachkenntnisse und ein hohes Qualifikationsniveau des Instandhaltungspersonals bezogen auf die entsprechenden Tätigkeitsschwerpunkte notwendig sind. Für die Verpackungsanlage I ($T_{IH_k} = 1,33$ entspricht der T_{IH_k} -Klasse II) bzw. die Verpackungsanlage II ($T_{IH_k} = 1,33$ entspricht ebenfalls der T_{IH_k} -Klasse II) ist hingegen eine durchschnittliche Fachkompetenz und ein mittleres Qualifikationsniveau des Instandhaltungspersonals in den entsprechenden Tätigkeitsschwerpunkten ausreichend.

In Tabelle 4.4 ist die Bestimmung der Technologie- und Instandhaltungskennzahlen sowie die Qualifikationszuordnung anhand des Beispielunternehmens A dargestellt.

Tabelle 4.4: Technologie- und Instandhaltungskennzahlen des Beispielunternehmens A

	Automatisierungs- grad (X_{Agrad})	Verkettungsgrad (Y_{Vgrad})	Komplexität (Z_{Kplx})	Technologie- und Instandhaltungs- kennzahl (T_{IH_k})	Notwendiges Qualifikationsniveau des Instandhaltungspersonals		
					niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)
<i>Technische Einheiten</i>							
Hochregal- system	3	2	3	2,67			○
Stetigförder- anlage	2	3	1	2,00			○
Verpackungs- anlage I	2	1	1	1,33		○	
Verpackungs- anlage II	3	1	1	1,33		○	

Quelle: Eigene Darstellung

In Kapitel C.2 im Anhang sind in den Tabellen C.5 bis C.8 die **Bestimmung der Technologie- und Instandhaltungskennzahlen** sowie die **Zuordnung der notwendigen Qualifikationen** der Beispielunternehmen B, C, D und E dargestellt.

Die *Technologie- und Instandhaltungskennzahl* T_{IH_k} unterstützt auf sehr einfache Weise eine Klassifizierung der technischen Einheiten anhand ihrer konstruktiven Auslegung, technologischen Beschaffenheit und weiteren betriebspezifischen Einzelheiten. Zudem ermöglicht sie eine anforderungsgerechte Zuordnung von Instandhaltungsmitarbeitern für eine möglichst effektive Durchführung der Instandhaltungstätigkeiten.

Sollten jedoch keine Instandhaltungsmitarbeiter mit der erforderlichen Fachkompetenz zur Verfügung stehen, so kann auch Instandhaltungspersonal mit höherem Qualifikationsniveau eingesetzt werden. Der Einsatz von nicht ausreichend qualifizierten Instandhaltungsmitarbeitern ist hingegen nur in begründeten Fällen sinnvoll, da ansonsten die Instandhaltungstätigkeiten entweder falsch oder nicht ausreichend erfolgen bzw. die Durchführung vor Ort zu viel Zeit in Anspruch nehmen könnte. Zu berücksichtigen sind in solchen Fällen jedoch betriebs- und verfahrensspezifische Prozesskenntnisse der einzelnen Instandhaltungsmitarbeiter.

4.5.2 Anwendung einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

Die Anwendung einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation wird anhand von typischen Aufgabenstellungen der geplanten und nicht geplanten Instandhaltung erläutert und mit Hilfe der gewählten Beispielunternehmen A bis E anhand von verschiedenen Fallbeispielen erörtert. Dazu wird die Verbundinstandhaltung der horizontalen Instandhaltungs Kooperation mit dem Einsatz von Instandhaltungsdienstleistern und der Herstellerinstandhaltung der komplementären Instandhaltungs Kooperation in Bezug auf die anfallenden Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten verglichen.

4.5.2.1 Geplante Instandhaltung

Bei der geplanten Instandhaltung von technischen Einheiten nimmt ein instandhaltungsverantwortlicher Mitarbeiter (beispielsweise Instandhaltungsleiter, Produktionsleiter, Abteilungsleiter) des Betreiberunternehmens der instand zu haltenden technischen Einheiten eine führende Rolle ein. Er stimmt sich mit den beteiligten Kooperationspartnern über die „geplanten“ Instandhaltungsaktivitäten ab und vereinbart die durchzuführenden Instandhaltungsmaßnahmen. Die notwendigen Instandhaltungsinformationen und -daten werden dabei im Rahmen der Instandhaltungsplanung ermittelt. Des Weiteren wird der Leistungsumfang der Instandhaltungsmaßnahmen festgelegt sowie Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. als auch erforderliche Ersatzteile definiert.

Zur Umsetzung der geplanten Instandhaltungsmaßnahmen erfolgt eine Terminierung der Aktivitäten sowie eine Zuweisung von Instandhaltungsmitarbeitern, welche die notwendige Fachkompetenz bezüglich der Tätigkeitsschwerpunkte besitzen. Zudem werden die erforderlichen Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. sowie die notwendigen Ersatzteile disponiert. Die Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen erfolgt dann nach Stillsetzung der technischen Einheiten durch die eingeplanten Instandhaltungsmitarbeiter der beteiligten Kooperationspartner (Verbundinstandhaltung).

• Fallbeispiel 1

Das Beispielunternehmen C muss eine geplante Instandhaltung an den Fertigungsmaschinen I und II durchführen, um mechanische Komponenten der beiden technischen Einheiten instand zu setzen sowie die jeweiligen Steuerungseinheiten als Verbesserungsmaßnahme auszutauschen. Die notwendigen mechanischen Ersatzteile werden disponiert, die Steuerungskomponenten direkt vom Hersteller der technischen Einheiten bezogen. Einige Teile der mechanischen Komponenten werden aus dem zentralen Ersatzteillager der horizontalen Instandhal-

tungsk Kooperation im Unternehmen D beschafft. Verschiedene Kleinteile stehen im Unternehmen C zur Verfügung.

Zur Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen ist Instandhaltungspersonal mit der erforderlichen Fachkompetenz notwendig. Anhand den Tätigkeitsschwerpunkten des Instandhaltungspersonals (vgl. Kapitel 4.5.1.1) und unter Zuhilfenahme der Technologie- und Instandhaltungskennzahl ($T_{IH_k} = 1,33$ entspricht jeweils der T_{IH_k} -Klasse II für beide technische Einheiten) werden für die mechanischen Instandsetzungsaufgaben die Instandhaltungsmitarbeiter A₁, B₁, B₂ und B₃ ermittelt. Zum Austausch der Steuerungseinheiten sind Fachkenntnisse aus dem Bereich der Elektrik und Elektronik, Steuerungs- und Regelungstechnik und gegebenenfalls der Softwareentwicklung und Programmierung notwendig, sodass für diese Aufgabe die Instandhaltungsmitarbeiter A₂, B₁ und B₃ der Verbundinstandhaltung einsetzbar sind.

Nach entsprechender Abstimmung innerhalb der horizontalen Instandhaltungskooperation mit den Unternehmen A und B stehen für die mechanischen Instandsetzungsaufgaben der Mitarbeiter A₁ und zum Austausch der Steuerungseinheiten der Mitarbeiter B₃ zur Verfügung. Die erforderlichen Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. sowie die notwendigen mechanischen Komponenten stellt Unternehmen D aus dem zentralen Ersatzteillager bereit. Die Ersatzteile der Hersteller werden termingerecht geliefert.

Nach Abschluss der Instandhaltungstätigkeiten werden dem Unternehmen C die benötigten Arbeits- und Reisezeiten der Instandhaltungsmitarbeiter A₁ und B₃ entsprechend des vereinbarten Stundenverrechnungssatzes berechnet.

Ergebnis:

Die geplanten Instandhaltungsmaßnahmen, die mittels Verbundinstandhaltung durchgeführt wurden, verursachen Instandhaltungskosten von insgesamt **5.160,- €**. Eine dabei entstehende (Produktions-) Ausfallzeit, welche sich aus der Reaktionszeit des Instandhaltungspersonals und der eigentlichen Instandhaltungszeit⁴ zusammensetzt, und somit die Zeitspanne darstellt, in der die technischen Einheiten nicht für den Leistungserstellungsprozess zur Verfügung stehen, beläuft sich auf 12,0 h je technischer Einheit. Dies bedeutet, dass sich eine Ausfallzeit von insgesamt **24,0 h** für beide technische Einheiten ergibt. Die direkten Instandhaltungskosten drücken die Arbeits- und Reisezeit des Instandhaltungspersonals aus; die indirekten Instandhaltungskosten beziehen sich auf die Ausfallzeit der technischen Einheiten. Bei geplanten Instandhaltungsmaßnahmen wird keine Reaktionszeit des Instandhaltungspersonals berücksichtigt.

Zum Vergleich werden für die geplante Instandhaltung der Einsatz eines Instandhaltungsdienstleisters sowie die Herstellerinstandhaltung berechnet. Im Falle des Instandhaltungsdienstleisters wird davon ausgegangen, dass die Mitarbeiter regional angesiedelt sind und bei einem mehrtägigen Instandhaltungseinsatz mehrfach an- und abreisen. Bei den instand zu haltenden technischen Einheiten handelt es sich um zwei unterschiedliche Fabrikate, sodass zwei verschiedene Hersteller berücksichtigt werden müssen. Für einen mehrtägigen Instandhaltungseinsatz wird hierbei eine Übernachtungspauschale von 70,- € je Übernachtung und Person berechnet.

In Tabelle 4.5 sind die Ergebnisse der geplanten Instandhaltung des Fallbeispiels 1 in Abhängigkeit der ausführenden Instandhaltungsakteure dargestellt.

⁴ *Instandhaltungszeit* – Als Instandhaltungszeit wird das „Zeitintervall, in dem Instandhaltung an einer Einheit von Hand oder automatisch ausgeführt wird, einschließlich technischer oder logistischer Verzögerungen“ [DIN EN 13306, 2001, S. 28], bezeichnet.

Tabelle 4.5: Fallbeispiel 1: Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten

	Verbund- instandhaltung	Instandhaltungs- dienstleister	Hersteller- instandhaltung
<i>Fertigungsmaschine I</i>			
Direkte Instandhaltungskosten [€]	1.674,-	1.947,-	3.062,-
Indirekte Instandhaltungskosten [€]	864,-	792,-	360,-
<i>Fertigungsmaschine II</i>			
Direkte Instandhaltungskosten [€]	1.674,-	1.947,-	2.417,-
Indirekte Instandhaltungskosten [€]	948,-	869,-	395,-
Gesamtkosten [€]:	5.160,-	5.555,-	6.234,-
Ausfallzeit [h]:	24,0	22,0	20,0

Quelle: Eigene Darstellung

In Kapitel C.3 im Anhang ist in den Tabellen C.9 bis C.11 die detaillierte **Berechnung der Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten**⁵ des Fallbeispiels 1 dargestellt.

Das **Fallbeispiel 1** zeigt, dass für geplante Instandhaltungsmaßnahmen die Verbundinstandhaltung der horizontalen Instandhaltungs Kooperation gegenüber dem Instandhaltungsdienstleister um **395,- €** kostengünstiger ist – dies entspricht **7,1 %**. Im Vergleich zur Herstellerinstandhaltung ist die Verbundinstandhaltung sogar um **1.074,- €** kostengünstiger, was **17,2 %** entspricht. Die deutlich niedrigeren Instandhaltungskosten rechtfertigen im Falle der Verbundinstandhaltung die geringfügig längeren Ausfallzeiten der beiden technischen Einheiten. Dies gilt insbesondere deshalb, weil die etwas längere Ausfallzeit von **2,0 h** pro technischer Einheit bereits im Vorfeld berücksichtigt werden kann, die entsprechenden Maschinenstundensätze geringer sind als die Einsparungen und zudem Redundanz für beide technische Einheiten zur Verfügung steht.

Aus wirtschaftlichen Gründen ist im gewählten Fallbeispiel die Verbundinstandhaltung für die geplante Instandhaltung der beiden technischen Einheiten zu bevorzugen.

⁵ *Berechnung der Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten* – Bei der Berechnung der Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten wird für die Arbeitszeiten berücksichtigt, dass sich die eigentlichen Instandhaltungszeiten durch das individuell unterschiedliche Qualifikationsniveau der Instandhaltungsakteure verlängern können. Dadurch kann es auch zu längeren Ausfallzeiten und somit zu verminderter Verfügbarkeit der technischen Einheiten kommen. Der Vereinfachung halber wird für alle Fallbeispiele und der späteren Simulation davon ausgegangen, dass die Instandhaltungsmitarbeiter der Herstellerinstandhaltung die größte Fachkompetenz und das höchste Qualifikationsniveau zur Instandhaltung der jeweils „eigenen“ technischen Einheiten besitzen. Alle weiteren Instandhaltungsakteure verfügen über ein entsprechend geringeres Qualifikationsniveau, welches mit Hilfe eines Verrechnungsfaktors berücksichtigt wird (vgl. Kapitel C.4.3.2 im Anhang). In Szenario 4 der späteren Simulation werden Lernkurveneffekte des Instandhaltungspersonals berücksichtigt, die sich dann auf die Produktivität der Verbundinstandhaltung auswirken. Für die Reisezeit des Instandhaltungspersonals der Herstellerinstandhaltung sowie der Instandhaltungsdienstleister werden gegenüber der Arbeitszeit um 30 % verminderte Stundenverrechnungssätze verrechnet. Dies wird ebenso mit Hilfe eines Verrechnungsfaktors berücksichtigt.

In Abbildung 4.12 sind die einzelnen Ergebnisse der geplanten Instandhaltung des Fallbeispiels 1 dargestellt.

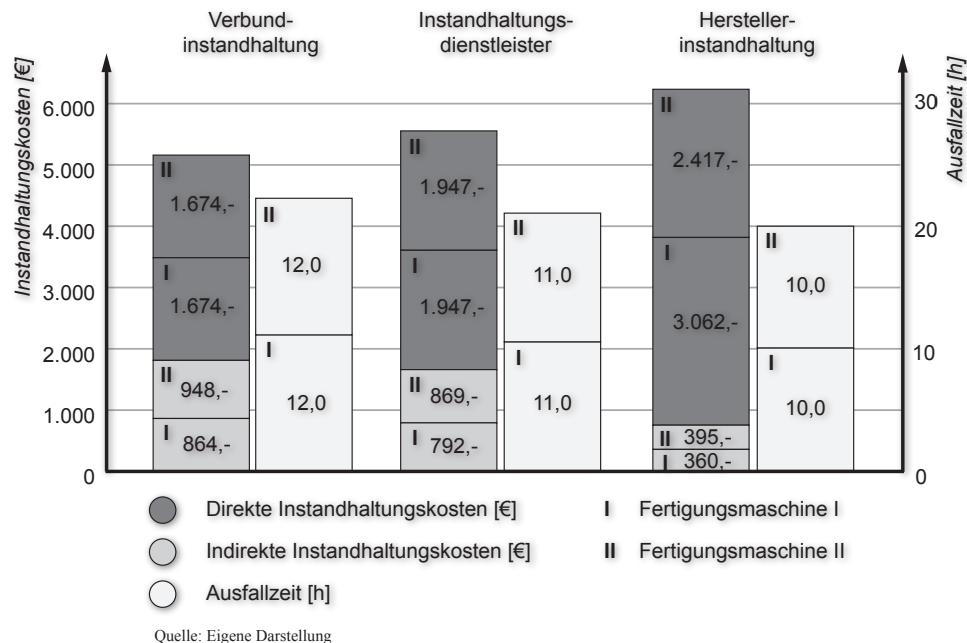


Abbildung 4.12: Ergebnisse des Fallbeispiels 1 (1.1 bis 1.3)

4.5.2.2 Nicht geplante Instandhaltung

Bei der nicht geplanten Instandhaltung von technischen Einheiten nimmt ebenfalls ein für die Instandhaltung verantwortlicher Mitarbeiter (beispielsweise Instandhaltungsleiter, Produktionsleiter, Abteilungsleiter usw.) des Betreiberunternehmens der instand zu haltenden technischen Einheit eine führende Rolle ein. Er stimmt sich mit den beteiligten Kooperationspartnern über die „kurzfristig notwendigen“ Aktivitäten zur Instandhaltung ab, vereinbart die durchzuführenden Instandhaltungsmaßnahmen und entscheidet im notwendigen Fall über eine personelle Aufteilung der Instandhaltungstätigkeiten. Bei störungsbedingter Instandhaltung werden die Instandhaltungsmaßnahmen vorher „nicht geplant“, sie erfolgen somit bei akutem Bedarf. Der Leistungsumfang ist dabei oft nicht vollständig bekannt. Die notwendigen Instandhaltungsinformationen und -daten müssen deshalb meist kurzfristig und oft mit einem organisatorisch und technologisch bedingten Mehraufwand beschafft werden. Ähnlich stellt sich dies für Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. sowie für erforderliche Ersatzteile dar.

Zur Umsetzung der nicht geplanten Instandhaltung erfolgt eine kurzfristige Überprüfung des verfügbaren Instandhaltungspersonals anhand einer vorherigen Abschätzung der Tätigkeitsschwerpunkte. Zudem werden die wesentlichen Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. als auch in Betracht kommende Reserve- und Verschleißteile disponiert. Die Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen erfolgt mittels der in möglichst kurzer Zeit (Reaktionszeit) verfügbaren, genügend qualifizierten Instandhaltungsmitarbeiter der Kooperationspartner.

• Fallbeispiel 2

Das Beispielunternehmen C muss infolge einer Havarie eine nicht geplante Instandhaltung an einem vollautomatisierten und hoch komplexen Bearbeitungszentrum durchführen. Dazu müssen mechanische und elektrisch-elektronische Komponenten ausgetauscht werden. Anschließend muss die technische Einheit einer geometrischen Vermessung unterzogen werden und es muss eine Neueinstellung diverser Anlagenparameter erfolgen. Ersatz für die defekten mechanischen und elektrisch-elektronischen Komponenten wird direkt vom Hersteller der techni-

schen Einheit bezogen, verschiedene Verschleiß- und Kleinteile stehen allerdings im Unternehmen C zur Verfügung.

Zur Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen ist Instandhaltungspersonal mit der erforderlichen Fachkompetenz notwendig. Anhand den Tätigkeitsschwerpunkten des Instandhaltungspersonals (vgl. Kapitel 4.5.1.1) und mit Hilfe der Technologie- und Instandhaltungskennzahl der technischen Einheit ($T_{IH_k} = 2,33$ entspricht der T_{IH_k} -Klasse III) lassen sich für die mechanischen Instandsetzungsaufgaben die Mitarbeiter B_1 und B_2 ermitteln. Für den Austausch der elektrisch-elektronischen Komponenten ist Instandhaltungsmitarbeiter B_3 einsetzbar. Zur geometrischen Vermessung der technischen Einheit und für die Neueinstellung der Anlagenparameter ist Spezialwissen erforderlich, welches einen zirka vierstündigen Einsatz eines Instandhaltungsmitarbeiters des Herstellers notwendig macht; dessen Reaktionszeit beläuft sich auf 8,0 h.

Nach Rücksprache mit den Kooperationspartnern stehen für die mechanischen Instandsetzungsaufgaben die Instandhaltungsmitarbeiter B_1 und B_2 nicht zur Verfügung. Allerdings ist Instandhaltungsmitarbeiter A_1 verfügbar, obgleich er die notwendige Fachkompetenz nicht ganz besitzt. Instandhaltungsmitarbeiter B_3 ist allerdings zum Austausch der elektrisch-elektronischen Komponenten einsetzbar. Die erforderlichen Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. als auch die noch notwendigen Reserveteile stellt Unternehmen D kurzfristig aus dem zentralen Ersatzteillager bereit. Die Ersatzteile des Herstellers werden innerhalb einer vereinbarten Lieferzeit angeliefert.

Die Instandhaltungsmitarbeiter A_1 und B_3 führen in Unternehmen C die Instandhaltungsmaßnahme zur Wiederherstellung der Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheit durch. Instandhaltungsmitarbeiter A_1 benötigt allerdings etwas mehr Zeit, da er nicht das Qualifikationsniveau der Mitarbeiter B_1 und B_2 besitzt. Nach Abschluss der Instandsetzungstätigkeiten erfolgt die Vermessung und Neueinstellung der technischen Einheit durch einen Instandhaltungsmitarbeiter des Herstellers. Die Arbeits- und Reisezeiten der Instandhaltungsmitarbeiter A_1 und B_3 werden dem Unternehmen C entsprechend des vereinbarten Stundenverrechnungssatzes berechnet. Die Arbeitszeit sowie die Reiseaufwendungen des Instandhaltungsmitarbeiters des Herstellers berechnet das Herstellerunternehmen der technischen Einheit ebenfalls dem Unternehmen C.

Ergebnis:

Die nicht geplante Instandhaltung findet in Kombination von Verbund- und Herstellerinstandhaltung statt, wodurch Instandhaltungskosten von insgesamt **6.009,- €** entstehen. Bei einem 2-Schicht-Betrieb beträgt die Ausfallzeit der technischen Einheit dabei **22,0 h**. Darin enthalten sind entsprechende Reaktionszeiten von 2,0 h bzw. 8,0 h, die sich ebenfalls auf die Betriebszeit der technischen Einheit beziehen.

Zum Vergleich wird die Kombination von Instandhaltungsdienstleister und Herstellerinstandhaltung sowie die reine Herstellerinstandhaltung berechnet. Im Falle des Instandhaltungsdienstleisters beläuft sich die Reaktionszeit auf 4,0 h. Darin enthalten ist die Zeit, bei einem anderen Unternehmen noch begonnene Tätigkeiten abschließen oder notwendiges Ausrüstungsmaterial (Werkzeug, Computer, Hilfsmittel usw.) vorbereiten zu können. Zudem ist darin die (An-) Reisezeit zum betreffenden Betreiberunternehmen enthalten. Ferner wird wieder davon ausgegangen, dass die Mitarbeiter des Instandhaltungsdienstleisters regional angesiedelt sind und bei einem mehrtägigen Instandhaltungseinsatz mehrfach an- und abreisen. Die Reaktionszeit des Herstellers beträgt 8,0 h, allerdings ist darin die (An-) Reisezeit zum betreffenden Betreiberunternehmen *nicht* enthalten. Für einen mehrtägigen Instandhaltungseinsatz des Herstellers wird wieder eine Übernachtungspauschale von 70,- € je Übernachtung und Person berechnet.

In Tabelle 4.6 sind die Ergebnisse für die nicht geplante Instandhaltung des Fallbeispiels 2 in Abhängigkeit der ausführenden Instandhaltungsakteure dargestellt.

Tabelle 4.6: Fallbeispiel 2: Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten

	Verbundinstand- haltung und Herstel- lerinstandhaltung	Instandhaltungsdienst- leister und Hersteller- instandhaltung	Hersteller- instandhaltung
<i>Bearbeitungszentrum</i>			
Direkte Instand- haltungskosten [€]	2.819,-	3.253,-	3.452,-
Indirekte Instand- haltungskosten [€]	3.190,-	3.335,-	4.858,-
Gesamtkosten [€]:	6.009,-	6.588,-	8.310,-
Ausfallzeit [h]:	22,0	23,0	33,5

Quelle: Eigene Darstellung

In Kapitel C.3 im Anhang ist in den Tabellen C.12 bis C.14 die detaillierte **Berechnung der Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten** des Fallbeispiels 2 dargestellt.

Das **Fallbeispiel 2** zeigt, dass die Kombination aus Verbund- und Herstellerinstandhaltung gegenüber der Kombination aus Instandhaltungsdienstleister und Herstellerinstandhaltung um **579,- €** kostengünstiger ist – dies entspricht **8,8 %**. Gegenüber der reinen Herstellerinstandhaltung ist die Kombination aus Verbund- und Herstellerinstandhaltung um **2.301,- €** kostengünstiger, was sogar **27,7 %** entspricht. In Bezug auf die Ausfallzeit der technischen Einheit beträgt zwischen den Kombinationen aus Verbund- und Herstellerinstandhaltung sowie aus Instandhaltungsdienstleister und Herstellerinstandhaltung der Unterschied nur **1,0 Stunde**. Jedoch ist im Vergleich zur reinen Herstellerinstandhaltung die Ausfallzeit der Kombination aus Verbund- und Herstellerinstandhaltung um **11,5 h** kürzer. Maßgeblichen Einfluss hat darauf die kürzere Reaktionszeit der Verbundinstandhaltung, da schon während der Anreise des Herstellers das Instandhaltungspersonal der Verbundinstandhaltung bereits mit der Instandhaltungsdurchführung beginnen kann.

Aufgrund der geringeren Instandhaltungskosten und der kürzeren Ausfallzeit ist die Kombination aus Verbund- und Herstellerinstandhaltung auch im Hinblick auf die hohe Bedeutung der technischen Einheit im gewählten Fallbeispiel für die nicht geplante Instandhaltung der technischen Einheit am besten geeignet.

In Abbildung 4.13 sind die einzelnen Ergebnisse der nicht geplanten Instandhaltung des Fallbeispiels 2 dargestellt.

• Fallbeispiel 3

Das Beispielunternehmen D muss aufgrund eines unbemerkt starken Verschleißes eine nicht geplante Instandhaltung an einem Regalbediengerät des vollautomatisierten Hochregalsystems durchführen. Dazu müssen verschlissene und zum Teil defekte mechanische Komponenten und ein defekter Antriebsmotor ausgetauscht werden. Zudem sind in der Software diverse Änderungen zur Verschleißminderung durchzuführen. Die notwendigen mechanischen Ersatzteile sowie ein Antriebsmotor werden direkt vom Hersteller der technischen Einheit bezogen.

Zur Durchführung der Instandhaltungsmaßnahme ist entsprechendes Instandhaltungspersonal mit der notwendigen Fachkompetenz erforderlich. Anhand den Tätigkeitsschwerpunkten des Instandhaltungspersonals (vgl. Kapitel 4.5.1.1) und mit Hilfe der Technologie- und Instandhaltungskennzahl der technischen Einheit ($T_{IH_k} = 2,67$ entspricht der T_{IH_k} -Klasse III) können für die mechanischen Instandsetzungsaufgaben die Mitarbeiter B₁ und B₂ eingesetzt werden.

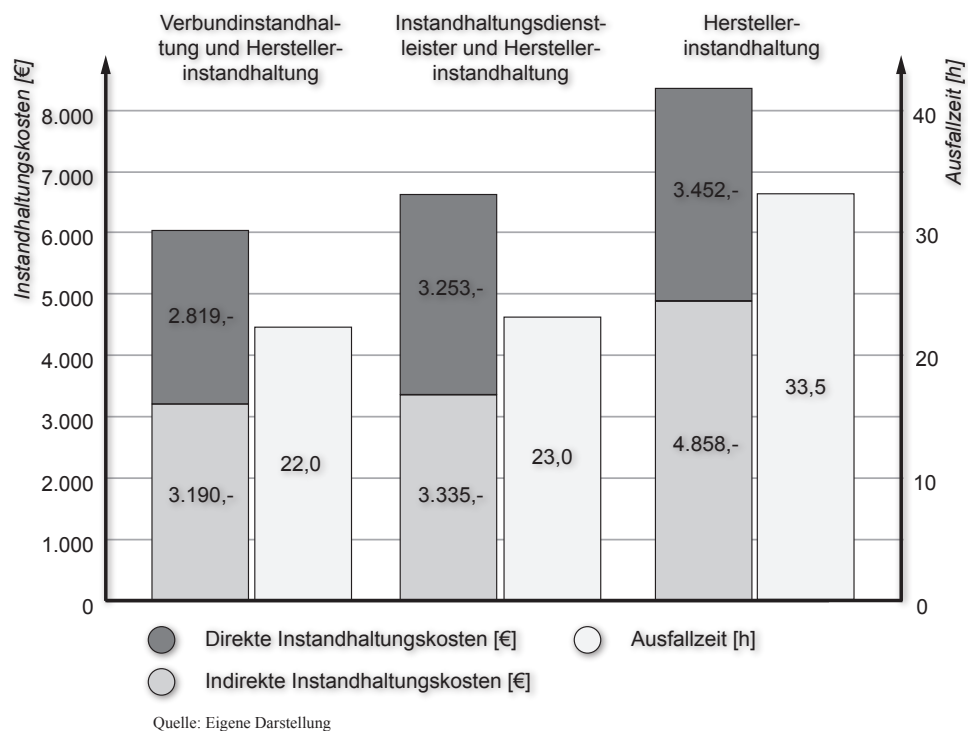


Abbildung 4.13: Ergebnisse des Fallbeispiels 2 (2.1 bis 2.3)

Zum Austausch des defekten Antriebsmotors und für die softwareseitigen Änderungen an der technischen Einheit ist Instandhaltungsmitarbeiter B₄ befähigt.

Nach kurzer Unterredung mit Unternehmen B stehen für die Instandhaltungsmaßnahme weder die Instandhaltungsmitarbeiter B₁ und B₂ noch Instandhaltungsmitarbeiter B₄ zur Verfügung. Daraus ergibt sich, dass auf Basis der Technologie- und Instandhaltungskennzahl kein Instandhaltungsmitarbeiter der horizontalen Instandhaltungs Kooperation eingesetzt werden kann. Dennoch wird Instandhaltungsmitarbeiter A₁ mit den mechanischen Instandsetzungsaufgaben betraut. Trotz fehlender Qualifikation besitzt Instandhaltungsmitarbeiter A₁ hinreichend Instandhaltungswissen und tätigkeitsspezifische Erfahrungen sowie umfassende Prozesskenntnisse der innerbetrieblichen Materialflusstechnik, um neben dem Austausch der verschlissenen und defekten Mechanikkomponenten auch die Verschleißursache beseitigen zu können. Für den Austausch des defekten Antriebsmotors und der softwareseitigen Änderungen der technischen Einheit wird ein Instandhaltungsdienstleister beauftragt. Die erforderlichen Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. als auch zusätzliche Reserve- und Verschleißteile stehen in Unternehmen D bereit. Die Ersatzteile des Herstellers werden innerhalb einer vereinbarten Lieferzeit angeliefert.

Nachdem Instandhaltungsmitarbeiter A₁ die Instandhaltungsmaßnahme in Unternehmen D durchgeführt hat, werden nach Abschluss aller Instandhaltungstätigkeiten die Arbeits- und Reisezeit entsprechend des vereinbarten Stundenverrechnungssatzes dem Unternehmen D berechnet. Der Instandhaltungsdienstleister berechnet dem Unternehmen D ebenfalls die Arbeitszeit sowie die Reiseaufwendungen seines Instandhaltungsmitarbeiters.

Ergebnis:

Für die Durchführung der nicht geplanten Instandhaltung in Kombination von Verbundinstandhaltung und Instandhaltungsdienstleister entstehen Instandhaltungskosten von insgesamt 2.617,- €. Bei einem 2-Schicht-Betrieb beläuft sich dabei die Ausfallzeit auf 14,6 h. Darin enthalten sind entsprechende Reaktionszeiten von 2,0 h bzw. 4,0 h, die sich ebenfalls auf die Betriebszeit der technischen Einheit beziehen.

Zum Vergleich werden die Kombinationsvarianten aus Verbund- und Herstellerinstandhaltung sowie Instandhaltungsdienstleister und Herstellerinstandhaltung berechnet. Des Weiteren werden die entsprechenden Daten der reinen Verbundinstandhaltung, der Instandhaltung nur mittels Instandhaltungsdienstleister und bezogen auf die reine Herstellerinstandhaltung ermittelt. Die Reaktionszeiten betragen in Abhängigkeit der Instandhaltungsakteure wieder 2,0 h, 4,0 h bzw. 8,0 h, wobei im Falle des Herstellers die (An-) Reisezeit zum betreffenden Betreiberunternehmen *nicht* enthalten ist und bei einem mehrtägigen Instandhaltungseinsatz des Instandhaltungsdienstleisters wieder davon ausgegangen wird, dass die Mitarbeiter regional angesiedelt sind und daher mehrfach an- und abreisen.

In Tabelle 4.7 sind die Ergebnisse der nicht geplanten Instandhaltung des Fallbeispiels 3 in Abhängigkeit von den ausführenden Instandhaltungsakteuren dargestellt.

Tabelle 4.7: Fallbeispiel 3: Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten

	Verbundinstandhaltung und Instandhaltungs- dienstleister	Verbundinstandhaltung und Herstellerinstand- haltung	Instandhaltungsdienst- leister und Hersteller- instandhaltung	Verbundinstand- haltung	Instandhaltungs- dienstleister	Herstellerinstand- haltung
<i>Hochregalsystem</i>						
Direkte Instand- haltungskosten [€]	1.230,-	1.802,-	1.977,-	1.000,-	1.405,-	2.549,-
Indirekte Instand- haltungskosten [€]	1.387,-	2.223,-	2.223,-	1.254,-	1.387,-	2.223,-
Gesamtkosten [€]:	2.617,-	4.025,-	4.200,-	2.254,-	2.792,-	4.772,-
Ausfallzeit [h]:	14,6	23,4	23,4	13,2	14,6	23,4

Quelle: Eigene Darstellung

In Kapitel C.3 im Anhang ist in den Tabellen C.15 bis C.20 die detaillierte **Berechnung der Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten** des Fallbeispiels 3 dargestellt.

Das **Fallbeispiel 3** zeigt, dass die Kombination von Verbundinstandhaltung und Instandhaltungsdienstleister gegenüber der Kombination von Verbund- und Herstellerinstandhaltung um **1.408,- €** kostengünstiger ist – dies entspricht **35 %**. Gegenüber der Kombination aus Instandhaltungsdienstleister und Herstellerinstandhaltung ist die Kombination von Verbundinstandhaltung und Instandhaltungsdienstleister um **1.583,- €** kostengünstiger – dies entspricht sogar **37,7 %**. Die Kombination von Verbund- und Herstellerinstandhaltung ist im Vergleich zur Kombination aus Instandhaltungsdienstleister und Herstellerinstandhaltung nur um **175,- €** kostengünstiger, was immerhin noch **4,2 %** entspricht. Die Ausfallzeit durch die Kombination aus Verbundinstandhaltung und Instandhaltungsdienstleister ist um **8,8 h** kürzer als bei den beiden anderen Kombinationsvarianten aus den unterschiedlichen Instandhaltungsakteuren.

In Abbildung 4.14 sind die einzelnen Ergebnisse der nicht geplanten Instandhaltung des Fallbeispiels 3 dargestellt.

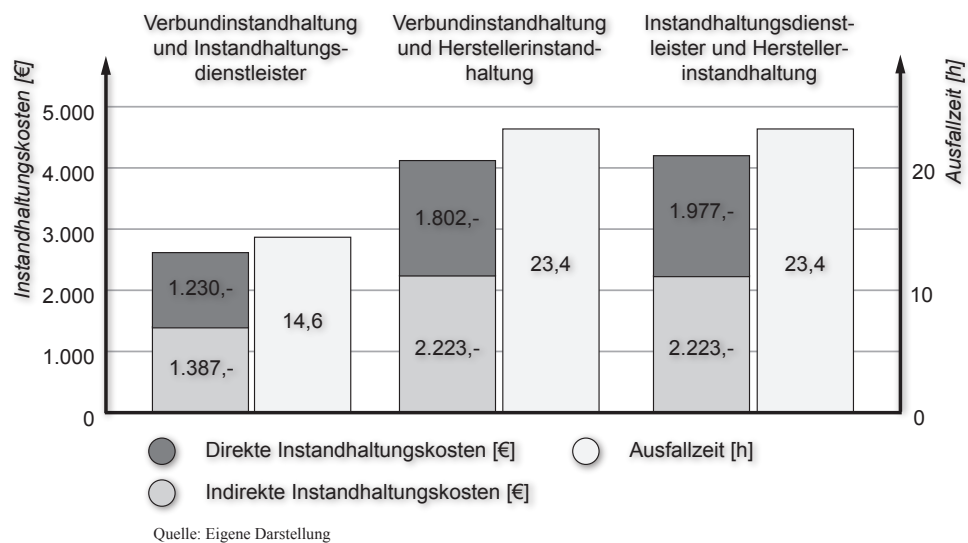


Abbildung 4.14: Ergebnisse des Fallbeispiels 3 (3.1 bis 3.3)

Die reine Verbundinstandhaltung ist gegenüber dem ausschließlichen Einsatz eines Instandhaltungsdienstleisters um **538,- €** kostengünstiger – dies entspricht **19,3 %**. Hinsichtlich der reinen Herstellerinstandhaltung ist die reine Verbundinstandhaltung bereits um **2.518,- €** kostengünstiger, was sogar **52,8 %** entspricht. In Bezug auf die Ausfallzeit der technischen Einheit besteht zwischen der reinen Verbundinstandhaltung und dem ausschließlichen Einsatz eines Instandhaltungsdienstleisters nur ein geringer Unterschied von **1,4 h**, jedoch ist die Ausfallzeit im Vergleich zur reinen Herstellerinstandhaltung um **10,2 h** deutlich kürzer.

In Abbildung 4.15 sind die einzelnen Ergebnisse der nicht geplanten Instandhaltung des Fallbeispiels 3 dargestellt.

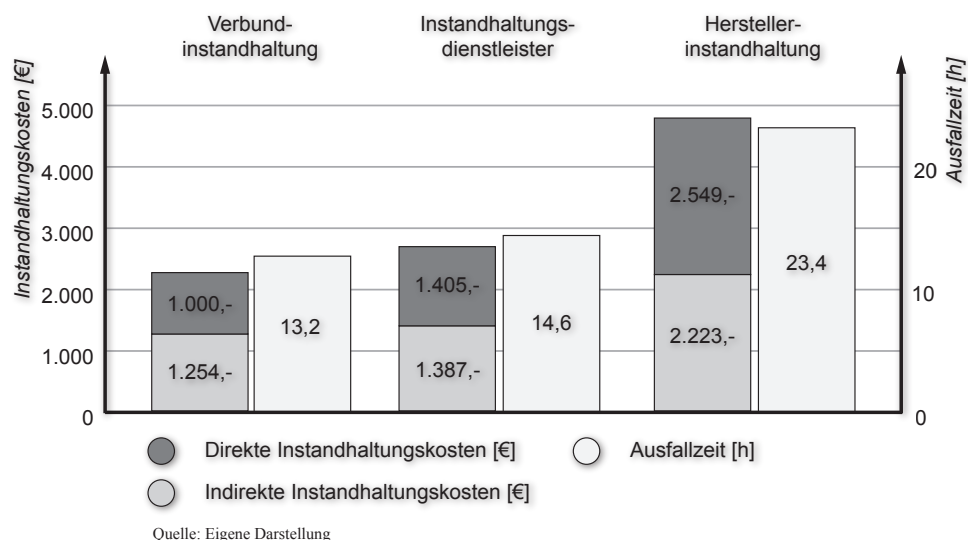


Abbildung 4.15: Ergebnisse des Fallbeispiels 3 (3.4 bis 3.6)

Sämtliche Kombinationsvarianten der unterschiedlichen Instandhaltungsakteure wie auch der ausschließliche Einsatz des Instandhaltungsdienstleisters bzw. die reine Herstellerinstandhaltung verursachen relativ hohe Instandhaltungskosten und zudem lange Ausfallzeiten der tech-

nischen Einheit. Im Hinblick auf die hohe Bedeutung der technischen Einheit ist dies ungünstig. Einzig die reine Verbundinstandhaltung erlaubt eine kostengünstige und schnelle Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen. Nachdem diese Möglichkeit im gewählten Fallbeispiel aufgrund von Kapazitätsengpässen nicht realisierbar war, ist die Kombination aus Verbundinstandhaltung und Instandhaltungsdienstleister zumindest im Hinblick auf die Gesamtkosten der Instandhaltung und die Ausfallzeit noch akzeptabel.

4.5.3 Leistungsfähigkeit einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

Die Wirksamkeit und somit der positive Nutzen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation lässt sich bereits an den einzelnen Fallbeispielen aufzeigen. Allerdings lassen sich damit keine zuverlässigen Aussagen zur **Leistungsfähigkeit der Verbundinstandhaltung** im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation über einen größeren Zeitraum treffen. Mit Hilfe einer **Simulation** können unterschiedliche Szenarien der geplanten und nicht geplanten Instandhaltung anhand der gewählten Beispielunternehmen A bis E untersucht werden, um die Leistungsfähigkeit einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation zu überprüfen.

In Kapitel C.4.1 im Anhang sind die **Grundlagen der Simulation** erläutert.

4.5.3.1 Simulation einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

Die **Bildung eines Simulationsmodells** erfolgt in erster Linie durch Vereinfachung, Zusammenfassung, Weglassen und Abstraktion, sodass ein Simulationsmodell so abstrakt wie möglich, aber so realitätsnah wie nötig ist. Die Entscheidung, welche Vereinfachungen durchgeführt und welche Aspekte mehr oder weniger abstrahiert werden, lassen sich formalisieren und systematisieren. Jedoch fließt trotz unterschiedlicher Erfahrungen und Ansichten immer ein gewisses Maß an Subjektivität mit ein [vgl. Bossel, 1994, S. 36-37].

Im Allgemeinen lassen sich **Simulationsmodelle** anhand ihrer charakteristischen Eigenschaften wie folgt einteilen [vgl. Küll u. Stähly, 1999, S. 4]:

- **Statische und dynamische Simulationsmodelle**

Ein statisches Modell stellt ein System zu einem bestimmten Zeitpunkt dar, wohingegen ein dynamisches Modell ein System im Zeitablauf repräsentiert. Bei dynamischen Simulationsmodellen wird zudem zwischen zeit- und ereignisorientierter Simulation unterschieden. Bei der zeitorientierten Simulation wird das Modell zu vorher festgelegten Zeitpunkten untersucht, was die Kenntnis über die systemrelevanten Zeitpunkte voraussetzt, die allerdings bei zufallsabhängigen Systemen selten gegeben sind. Hier bietet sich eine ereignisorientierte Simulation an, bei der das System nicht nach festen Zeitintervallen, sondern zu den Zeitpunkten betrachtet wird, welche dem Eintreten von Ereignissen im Ablauf der Simulationsstudie entsprechen.

- **Diskrete und stetige Simulationsmodelle**

Ein diskretes Simulationsmodell ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zustandsvariablen sich nur zu bestimmten Zeit- bzw. Ereignispunkten ändern. Verändern sich die Zustandsvariablen des Modells über die Zeit hinweg kontinuierlich, so spricht man von einem stetigen Modell.

- **Deterministische und stochastische Simulationsmodelle**

Bei einem deterministischen Modell basiert das Simulationsmodell auf Eingabedaten, deren Werte jeweils vorgegeben sind. Treten hingegen eine oder mehrere Zufallsvariablen als Eingabegrößen auf, so bezeichnet man dieses Modell als stochastisch.

Hinsichtlich der gewählten Beispielunternehmen A bis E entsprechen die vielfältigen Instandhaltungsaktivitäten einer wirtschaftlichen und organisatorischen Problemstellung. Die Eigenschaften einer solchen Problemstellung sind meist diskreter, dynamischer und stochastischer Natur [nach Küll u. Stähly, 1999, S. 4]. Ein dem realen Zustand angepasstes vereinfachtes Simulationsmodell ist daher ebenfalls diskreter, dynamischer und stochastischer Art.

Das **Simulationsmodell der horizontalen Instandhaltungskooperation** gliedert sich bezüglich der gewählten Beispielunternehmen A bis E in drei Hierarchieebenen. Auf der *obersten Ebene* wird die zu simulierende horizontale Instandhaltungskooperation definiert. Dabei werden die dazugehörigen Beziehungen der an der Kooperation beteiligten Unternehmen A bis E untereinander sowie die entsprechenden örtlichen Gegebenheiten festgelegt (vgl. Tabelle C.21 in Kapitel C.4.3). Außerdem werden die unterschiedlichen Vorgehensweisen bei der betrieblichen Instandhaltung (Eigeninstandhaltung, Fremdinstandhaltung, Verbundinstandhaltung) bestimmt und unter Verwendung spezieller Hilfsfunktionen modelliert. Auf der *mittleren Ebene* des Simulationsmodells werden die gewählten Beispielunternehmen A bis E im Detail erfasst. Dazu werden den Unternehmen jeweils vier technische Einheiten zugeordnet, die entsprechenden Instandhaltungsakteure gebildet und mit Simulationsdaten hinterlegt (vgl. Kapitel C.4.3). Auf der *untersten Ebene* des Simulationsmodells werden die Details zu den technischen Einheiten formuliert. Dabei werden die Betriebsprozesse der technischen Einheiten ebenfalls mit Hilfe der Simulationsdaten modelliert und die jeweiligen Instandhaltungsprozesse definiert.

In Abbildung 4.16 sind die verschiedenen Ebenen des Simulationsmodells der horizontalen Instandhaltungskooperation dargestellt.

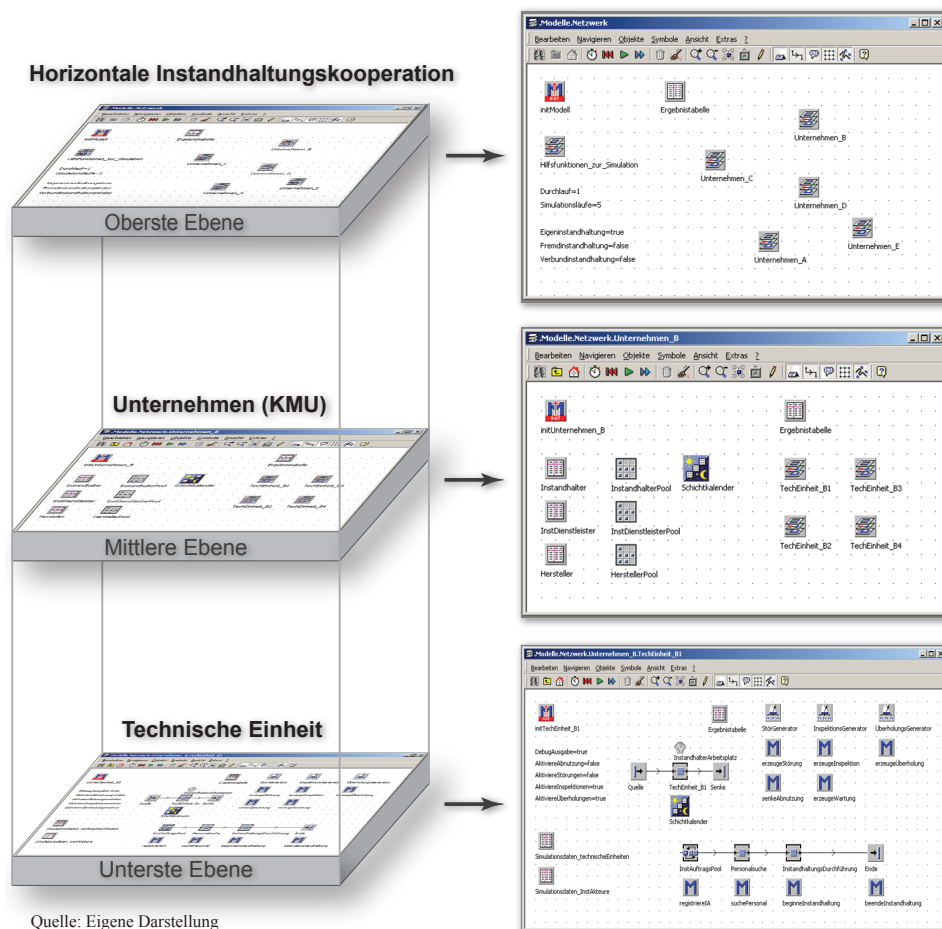


Abbildung 4.16: Ebenen des Simulationsmodells

4.5.3.2 Durchführung der Simulationsstudie

Die Simulationsstudie erfolgt anhand der dynamischen Instandhaltungsprozesse der gewählten Beispielunternehmen A bis E. Dabei erfahren jeweils vier technische Einheiten pro Unternehmen, die entsprechend eines Schichtplanes eingesetzt werden, während des Betriebs sowohl geplante Störungen als auch ungeplante Störungen und Ausfälle. Eine geplante Störung kann dabei eine Inspektion, Wartung oder eine Instandsetzung sein, die nach festgelegten Intervallen stattfinden. Wartungen sind im Simulationsmodell auf eine Inspektion folgende Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrates. Der Abnutzungsvorrat wird zu Beginn der Simulation jeweils auf 100 % festgelegt. Eine ungeplante Störung oder ein Ausfall einer technischen Einheit haben dagegen einen rein zufälligen Charakter und werden im Simulationsmodell mit Hilfe eines Ereignisverwalters generiert. Eine ungeplante Störung kann beispielsweise eine Unterschreitung der Abnutzungsgrenze eines Teils, Bauelements oder einer ganzen Funktionseinheit sein. Eine Havarie oder ein plötzlicher Defekt eines Teils, Bauelements oder einer ganzen Funktionseinheit kann hingegen den Ausfall einer kompletten technischen Einheit hervorrufen – beides löst ungeplante Instandsetzungsmaßnahmen aus.

Als Instandhaltungsakteure werden zur Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen die unternehmenseigenen Mitarbeiter – sofern vorhanden – (Eigeninstandhaltung), unternehmensfremde Instandhaltungsmitarbeiter der Hersteller der technischen Einheiten bzw. der Instandhaltungsdienstleister (Fremdinstandhaltung) sowie Instandhaltungsmitarbeiter der Partnerunternehmen im Rahmen der horizontalen Instandhaltungskooperation (Verbundinstandhaltung) eingesetzt. Ausschlaggebend für einen Instandhaltungseinsatz ist die vorherige Prüfung der erforderlichen Fachkompetenz, des notwendigen Qualifikationsniveaus und der Verfügbarkeit des entsprechenden Instandhaltungspersonals. Die Nutzung einer Entscheidungsregel zur Festlegung einer Reihenfolge bei der Auftragsbearbeitung nach Priorität erfolgt im Simulationsmodell aus Gründen der Vereinfachung nicht. Konfliktsituationen werden daher vernachlässigt, ebenso werden im Simulationsmodell die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) und die Unfallverhütungsvorschriften (UVV) vernachlässigt. Berücksichtigt werden allerdings die Anzahl der Einzelschichten pro Arbeitstag, in denen die Instandhaltungsakteure eingesetzt werden. Für die Reisezeit des Instandhaltungspersonals der Herstellerinstandhaltung bzw. der Instandhaltungsdienstleister werden gegenüber der Arbeitszeit um 30 % verminderte Stundenverrechnungssätze berechnet. Die monetären Einnahmen für erbrachte (Dienst-) Leistungen im Verbund aufgrund des Austauschs von Instandhaltungsmitarbeitern innerhalb der horizontalen Instandhaltungskooperation werden gesondert erfasst und jeweils den Gesamtkosten der Instandhaltung gegengerechnet, um die effektiven Instandhaltungskosten zu ermitteln.

In Kapitel C.4.3 im Anhang sind in den Tabellen C.22 bis C.31 die entsprechenden **Modellparameter und Simulationsdaten** dargestellt.

Das **Ziel der Simulationsstudie** ist die Überprüfung einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU hinsichtlich der *Gesamtkosten der Instandhaltung* sowie der *Verfügbarkeit der technischen Einheiten*. Mit Hilfe des Simulationsmodells lässt sich die Dynamik der Instandhaltungsprozesse bezüglich der gewählten Beispielunternehmen A bis E hinreichend genau abbilden, sodass verlässliche Ergebnisse zu erwarten sind.

Zur Prüfung der Leistungsfähigkeit einer horizontalen Instandhaltungskooperation werden Simulationsexperimente hinsichtlich unterschiedlicher Szenarien der geplanten und nicht geplanten Instandhaltung durchgeführt. Die einzelnen Szenarien beziehen sich dabei auf einen Zeitraum von jeweils vier Jahren; jedes Experiment wird dabei fünf Mal wiederholt. Aus den erhaltenen Simulationsergebnissen aller Experimente wird dann pro Szenario der Mittelwert gebildet und bezogen auf ein Jahr ausgegeben. Jedes der gewählten Beispielunternehmen A bis E wird dabei separat betrachtet.

Die (Produktions-) Ausfallzeit, in der die technischen Einheiten nicht für den Leistungserstellungsprozess zur Verfügung stehen, wird aus der Summe von Reaktionszeit des Instandhaltungspersonals und eigentlicher Instandhaltungszeit gebildet. Die Verfügbarkeit entspricht dem Durchschnittswert aller betrachteten technischen Einheiten des jeweiligen Unternehmens. Die direkten Instandhal-

tungskosten setzen sich aus der Arbeits- und Reisezeit des entsprechenden Instandhaltungspersonals zusammen; die indirekten Instandhaltungskosten beziehen sich auf die Ausfallzeit der technischen Einheiten. Bei geplanten Instandhaltungsmaßnahmen wird keine Reaktionszeit des Instandhaltungspersonals berücksichtigt.

- **Szenarien der geplanten und nicht geplanten Instandhaltung**

- **Szenario 1:** Die geplanten und nicht geplanten Instandhaltungsmaßnahmen werden von der Eigeninstandhaltung und der Fremdinstandhaltung durchgeführt. Es findet dabei eine komplementäre Instandhaltungs Kooperation statt. Szenario 1 repräsentiert die momentane IST-Situation in der Praxis.
- **Szenario 2:** Die Durchführung der geplanten und nicht geplanten Instandhaltungsmaßnahmen erfolgt ebenfalls durch die Eigeninstandhaltung und Fremdinstandhaltung. Allerdings wird die Verbundinstandhaltung zusätzlich eingesetzt, sodass neben der komplementären auch eine horizontale Instandhaltungs Kooperation stattfindet.
- **Szenario 3:** Die geplanten und nicht geplanten Instandhaltungsmaßnahmen werden durch die Eigeninstandhaltung und Verbundinstandhaltung durchgeführt; die Fremdinstandhaltung wird nicht eingesetzt. Es findet dabei eine rein horizontale Instandhaltungs Kooperation statt.
- **Szenario 4:** Die Durchführung der geplanten und nicht geplanten Instandhaltungsmaßnahmen entspricht Szenario 3, jedoch wird ein zu erwartender Zehnprozentiger Lernkurveneffekt bei den Instandhaltungsmitarbeitern der Verbundinstandhaltung berücksichtigt. Es findet wieder eine rein horizontale Instandhaltungs Kooperation statt.

- **Ergebnis:** Unternehmen A

In den Tabellen 4.8 sind die Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens A dargestellt.

Tabelle 4.8: Simulationsergebnisse des Unternehmens A

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Ausfallzeit [h]	656	654	668	595
Verfügbarkeit [%]	82,0	82,0	81,5	83,5
Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	141.557,-	122.812,-	93.521,-	83.403,-
Einnahmen aus Verbundleistungen [€]	0,-	30.605,-	43.678,-	42.603,-
Effektive Instandhaltungskosten [€]:	141.557,-	92.207,-	49.843,-	40.800,-

Quelle: Eigene Darstellung

Bei **Unternehmen A** zeigt sich, dass ausgehend von Szenario 1 die Gesamtkosten der Instandhaltung durch die Verbundinstandhaltung sinken. In Szenario 2 reduzieren sich gegenüber Szenario 1 die Instandhaltungskosten um **13,2 %**, in Szenario 3 um **33,9 %**. Unter Berücksichtigung der Einnahmen für die erbrachten Verbundleistungen der eigenen Instandhaltungsmitarbeiter A₁ und A₂ ergibt sich eine Reduzierung der Instandhaltungskosten von **34,9 %** bzw. von **64,8 %**. Die Ausfallzeit der technischen Einheiten verändert sich nur geringfügig; schlussendlich steigt sie um **12,0 h** an. Die durchschnittliche Verfügbarkeit bleibt nahezu konstant. Szenario 4 zeigt, dass ein Zehnprozentiger Lernkurveneffekt der Instandhaltungsmitarbeiter eine Reduzierung der Gesamtkosten der Instandhaltung um **41,1 %** bzw. unter Berücksichtigung der Einnahmen für die erbrachten Verbundleistungen eine Kostenreduzierung um **71,2 %**

ermöglicht. Die Ausfallzeit sinkt um **61,0 h** und die durchschnittliche Verfügbarkeit der technischen Einheiten steigt um **1,5 %** leicht an.

In Abbildung 4.17 sind die Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens A dargestellt.

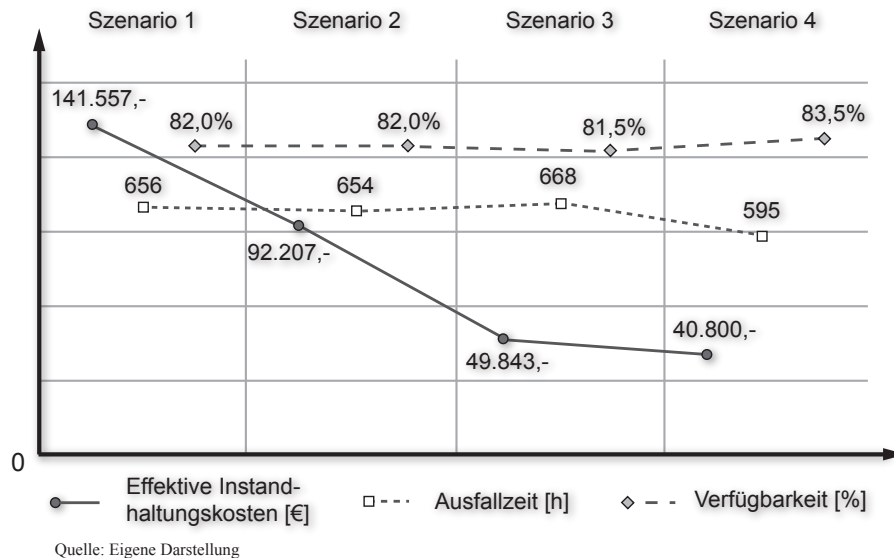


Abbildung 4.17: Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens A

- **Ergebnis:** Unternehmen B

In Tabelle 4.9 sind die Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens B dargestellt.

Tabelle 4.9: Simulationsergebnisse des Unternehmens B

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Ausfallzeit [h]	748	786	807	741
Verfügbarkeit [%]	84,6	83,9	83,5	84,8
Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	90.953,-	127.015,-	99.735,-	88.919,-
Einnahmen aus Verbundleistungen [€]	0,-	129.968,-	178.853,-	169.430,-
Effektive Instandhaltungskosten [€]:	90.953,-	-2.953,-*	-79.117,-*	-80.511,-*

* Negative Instandhaltungskosten entsprechen einem positiven Ertrag der Instandhaltung

Quelle: Eigene Darstellung

Bei **Unternehmen B** wird aufgezeigt, dass ausgehend von Szenario 1 die Gesamtkosten der Instandhaltung durch die Verbundinstandhaltung zunächst um **39,6 %** ansteigen. Dies liegt darin begründet, dass Unternehmen B eine größere Anzahl an hoch qualifizierten Instandhaltungsmitarbeitern mit umfassender Fachkompetenz beschäftigt und diese vermehrt der Verbundinstandhaltung zur Verfügung stellt. Dadurch ergibt sich ein Engpass in der Auftragsbearbeitung für das eigene Unternehmen, obwohl eigentlich genügend eigene personelle Instandhaltungsressourcen zur Verfügung stehen würden. Im Simulationsmodell wird keine Ent-

scheidungsregel zur Festlegung einer Reihenfolge bei der Auftragsbearbeitung nach Priorität genutzt, sodass in Szenario 2 die Fremdinstandhaltung auch bei Unternehmen B öfters eingesetzt wird und dadurch höhere Instandhaltungskosten hinsichtlich Szenario 1 entstehen. In Szenario 3 reduzieren sich allerdings die Instandhaltungskosten wieder, jedoch sind sie, verglichen mit Szenario 1, noch immer um 9,7 % höher. Werden aber die Einnahmen für die erbrachten Verbundleistungen der eigenen Instandhaltungsmitarbeiter B₁, B₂, B₃ und B₄ berücksichtigt, so wird sogar ein geringfügiger Ertrag erwirtschaftet. Die Ausfallzeit der technischen Einheiten steigt gegenüber Szenario 1 allerdings um 38,0 h bzw. um 58,0 h an. Die durchschnittliche Verfügbarkeit sinkt um 0,7 % bzw. um 1,1 %. Szenario 4 zeigt wiederum, dass bei einem Zehnprozentigen Lernkurveneffekt und bei Berücksichtigung der Einnahmen für die erbrachten Verbundleistungen nicht nur ein deutlich höherer Ertrag der Instandhaltung erwirtschaftet werden kann, sondern auch die Ausfallzeit der technischen Einheiten abnimmt. Gegenüber Szenario 1 sinkt die Ausfallzeit um 7,0 h; die durchschnittliche Verfügbarkeit steigt dadurch um 0,2 % an.

In Abbildung 4.18 sind die Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens B dargestellt.

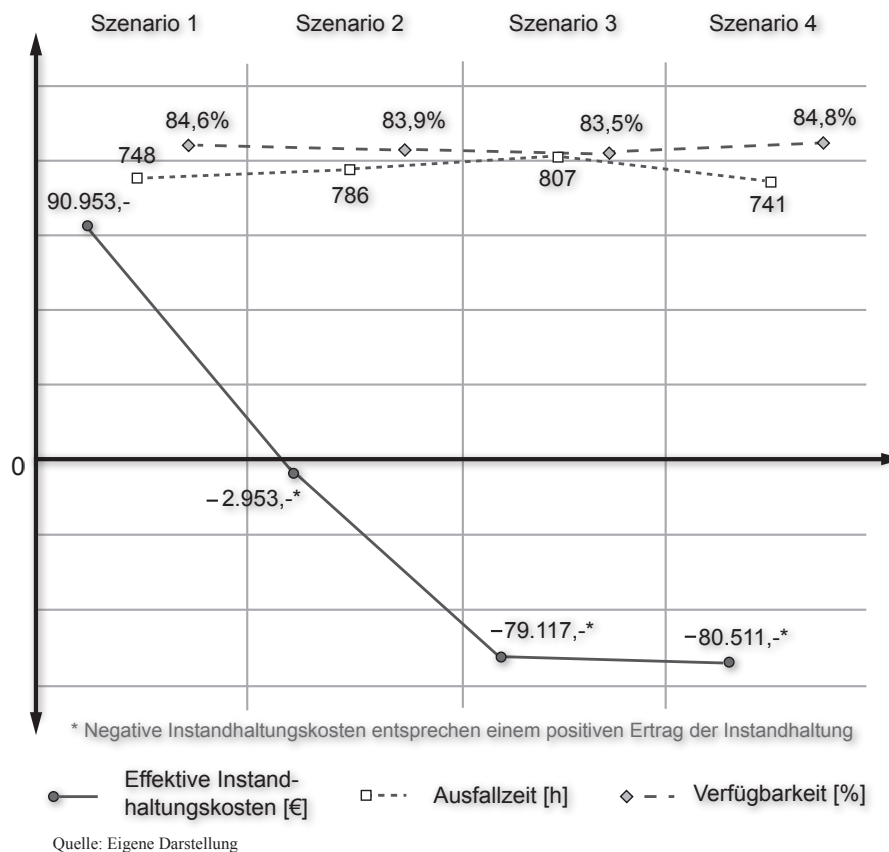


Abbildung 4.18: Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens B

- **Ergebnis:** Unternehmen C

In Tabelle 4.10 sind die Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens C dargestellt.

Tabelle 4.10: Simulationsergebnisse des Unternehmens C

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Ausfallzeit [h]	363	354	356	206
Verfügbarkeit [%]	81,9	82,3	82,2	89,7
Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	343.851,-	160.287,-	107.065,-	98.764,-
Einnahmen aus Verbundleistungen [€]	0,-	0,-	0,-	0,-
Effektive Instandhaltungskosten [€]:	343.851,-	160.287,-	107.065,-	98.764,-

Quelle: Eigene Darstellung

Bei **Unternehmen C** zeigt sich, dass die Gesamtkosten der Instandhaltung durch die Verbundinstandhaltung sinken. Ausgehend von Szenario 1 wird dies in Szenario 2 deutlich. Die Instandhaltungskosten reduzieren sich dabei um **53,4 %**, in Szenario 3 sogar um **68,9 %**. Die Ausfallzeit der technischen Einheiten sinkt im Vergleich zu Szenario 1 um **9,0 h** bzw. um **7,0 h**. Die durchschnittliche Verfügbarkeit verändert sich kaum. Mögliche Einnahmen für erbrachte Verbundleistungen von eigenen Instandhaltungsmitarbeitern können bei Unternehmen C nicht berücksichtigt werden. Jedoch zeigt Szenario 4, dass ein Zehnprozentiger Lernkurveneffekt der Instandhaltungsmitarbeiter der Verbundinstandhaltung eine weitere Reduzierung der Instandhaltungskosten bewirkt. Schlussendlich ist eine Reduzierung der Gesamtkosten der Instandhaltung um **71,3 %** gegenüber Szenario 1 möglich. Die Ausfallzeit der technischen Einheiten sinkt um **150,0 h** und die Verfügbarkeit erfährt einen Anstieg um **7,8 %**.

In Abbildung 4.19 sind die Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens C dargestellt.

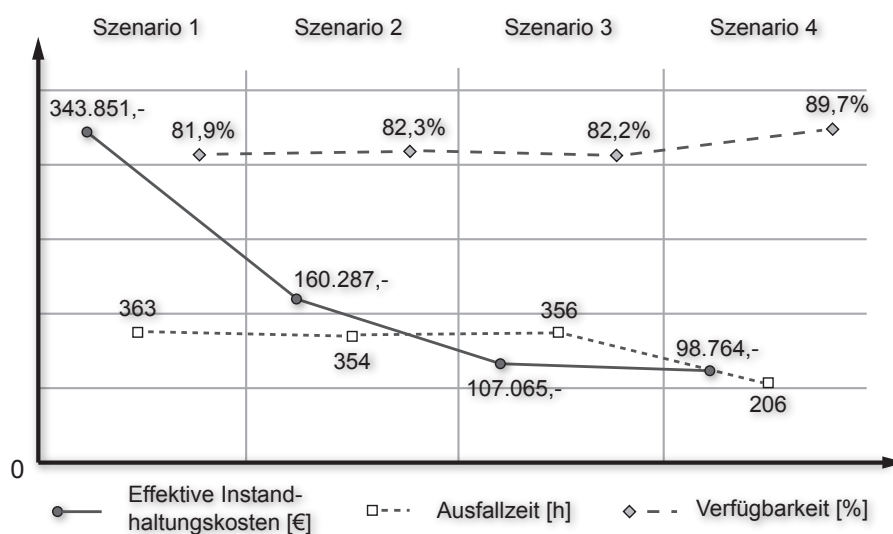


Abbildung 4.19: Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens C

- **Ergebnis:** Unternehmen D

In Tabelle 4.11 sind die Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens D dargestellt.

Tabelle 4.11: Simulationsergebnisse des Unternehmens D

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Ausfallzeit [h]	407	399	430	406
Verfügbarkeit [%]	89,8	90,0	89,3	89,8
Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	141.842,-	71.254,-	55.518,-	53.977,-
Einnahmen aus Verbundleistungen [€]	0,-	0,-	0,-	0,-
Effektive Instandhaltungskosten [€]:	141.842,-	71.254,-	55.518,-	53.977,-

Quelle: Eigene Darstellung

Bei **Unternehmen D** ist erkennbar, dass die Gesamtkosten der Instandhaltung durch die Verbundinstandhaltung sinken. In Szenario 2 ist sichtbar, dass sich eine Reduzierung der Instandhaltungskosten gegenüber Szenario 1 um **49,8 %**, in Szenario 3 um **60,9 %** einstellt. Die Ausfallzeit der technischen Einheiten sinkt um **8,0 h** bzw. steigt gegenüber Szenario 1 um **23,0 h** an. Ausgehend von Szenario 1 erfolgt eine geringe Veränderung der durchschnittlichen Verfügbarkeit. In Szenario 2 steigt sie um **0,2 %** an, bei Szenario 3 sinkt sie um **0,6 %** ab. Bei Unternehmen D können ebenfalls keine Einnahmen für erbrachte Verbundleistungen von eigenen Instandhaltungsmitarbeitern berücksichtigt werden. In Szenario 4 zeigt sich, dass ein Zehnprozentiger Lernkurveneffekt der Instandhaltungsmitarbeiter der Verbundinstandhaltung eine geringe Reduzierung der Instandhaltungskosten bewirkt; die Ausfallzeit und die durchschnittliche Verfügbarkeit der technischen Einheiten bleiben gegenüber Szenario 1 nahezu konstant.

In Abbildung 4.20 sind die Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens D dargestellt.

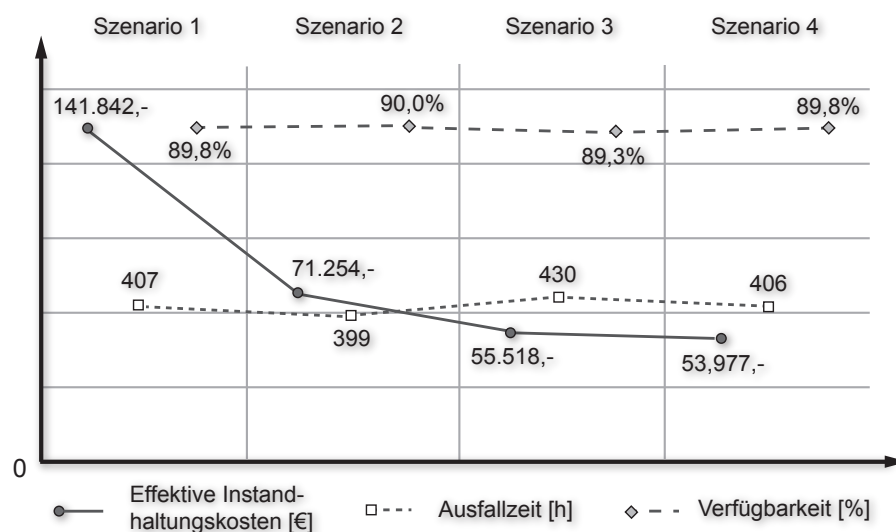


Abbildung 4.20: Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens D

- **Ergebnis:** Unternehmen E

In Tabelle 4.12 sind die Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens E dargestellt.

Tabelle 4.12: Simulationsergebnisse des Unternehmens E

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Ausfallzeit [h]	492	463	491	466
Verfügbarkeit [%]	84,7	85,4	84,5	85,3
Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	290.877,-	185.574,-	125.079,-	119.810,-
Einnahmen aus Verbundleistungen [€]	0,-	10.487,-	15.326,-	9.777,-
Effektive Instandhaltungskosten [€]:	290.877,-	175.087,-	109.753,-	110.033,-

Quelle: Eigene Darstellung

Bei **Unternehmen E** zeigt sich, dass durch die Verbundinstandhaltung auch hier die Gesamtkosten der Instandhaltung sinken. Im Vergleich zu Szenario 1 sinken die Instandhaltungskosten in Szenario 2 um **36,2 %**, in Szenario 3 um **57,0 %**. Unter Berücksichtigung der Einnahmen für die erbrachten Verbundleistungen des eigenen Instandhaltungsmitarbeiters E₁ ergibt sich eine Reduzierung der Instandhaltungskosten von **39,8 %** bzw. von **62,2 %**. Die Ausfallzeit der technischen Einheiten sinkt um **29,0 h** bzw. in Szenario 3 um **1,0 h**. Die durchschnittliche Verfügbarkeit steigt in Szenario 2 um **0,7 %**; in Szenario 3 nimmt sie jedoch um **0,2 %** leicht ab. Ein Zehnprozentiger Lernkurveneffekt der Instandhaltungsmitarbeiter der Verbundinstandhaltung bewirkt keine Reduzierung der Instandhaltungskosten, allerdings sinkt die Ausfallzeit der technischen Einheiten verglichen mit Szenario 1 um **26,0 h**. Die durchschnittliche Verfügbarkeit steigt gegenüber Szenario 1 um **0,6 %** an.

In Abbildung 4.21 sind die Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens E dargestellt.

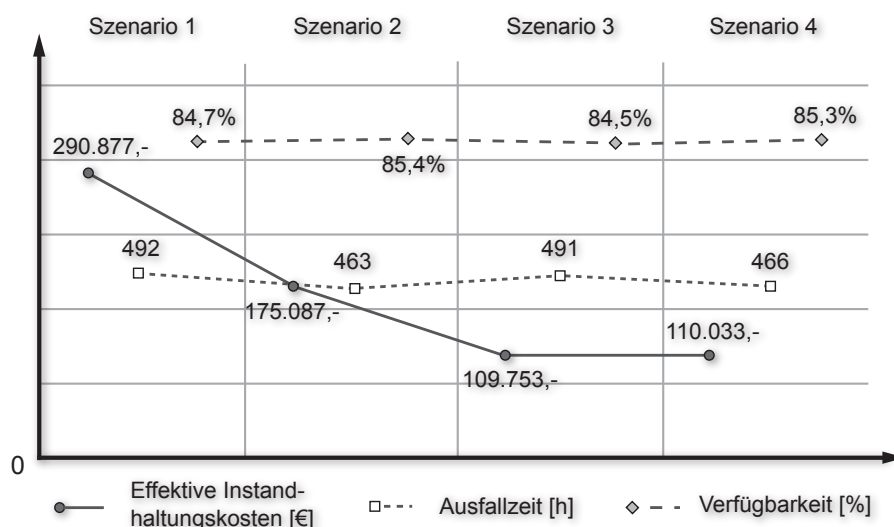


Abbildung 4.21: Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens E

In Kapitel C.4.4 im Anhang sind in den Tabellen C.32 bis C.35 die exakten **Daten der Simulation** der Szenarien 1 bis 4 der Unternehmen A bis E dargestellt.

4.6 Bewertung der Erkenntnisse

Die angeführten **Fallbeispiele** der betrieblichen Instandhaltung (vgl. Kapitel 4.5.2.1 und 4.5.2.2) bilden typische Aufgabenstellungen bei KMU ab. Sie zeigen die Wirksamkeit der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation von KMU. Unabhängig davon, ob die Verbundinstandhaltung ausschließlich oder in Kombination mit einem Instandhaltungsdienstleister bzw. mit der Herstellerinstandhaltung (Fremdinstandhaltung) eingesetzt wird, fallen die entstehenden Instandhaltungskosten verglichen mit einem ausschließlichen Einsatz eines Instandhaltungsdienstleisters bzw. der reinen Herstellerinstandhaltung im Durchschnitt um 23,3 % geringer aus. In der Regel verringert sich dabei auch die Ausfallzeit der technischen Einheiten um durchschnittlich 15,2 %. Dies wirkt sich wiederum positiv auf die Verfügbarkeit der technischen Einheiten aus.

In Tabelle 4.13 sind die relativen Änderungen der Fallbeispiele (vgl. Kapitel 4.5.2.1 und 4.5.2.2) in Bezug auf die Ausfallzeit und die Instandhaltungskosten dargestellt.

Tabelle 4.13: Ergebniszusammenfassung der Fallbeispiele

Fallbeispiel $\xrightarrow{\text{ggü.}}$ Fallbeispiel	Relative Änderung [%]	
	Ausfallzeit	Gesamtkosten der Instandhaltung
<i>Geplante Instandhaltung</i>		
1.1 \rightarrow 1.2	+20,0	-7,1
1.1 \rightarrow 1.3	+10,0	-17,2
<i>Nicht geplante Instandhaltung</i>		
2.1 \rightarrow 2.2	-4,3	-8,8
2.1 \rightarrow 2.3	-34,3	-27,7
3.1 \rightarrow 3.2	-37,6	-35,0
3.1 \rightarrow 3.3	-37,6	-37,7
3.2 \rightarrow 3.3	0,0	-4,2
3.4 \rightarrow 3.5	-9,6	-19,3
3.4 \rightarrow 3.6	-43,6	-52,8
Arithmetischer Mittelwert [%]	-15,2	-23,3

Quelle: Eigene Darstellung

Mit Hilfe der **Simulation** lässt sich das dynamische Instandhaltungsgeschehen (vgl. Kapitel 4.5.3.1) im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation von KMU abbilden. Dadurch können unterschiedliche Szenarien der geplanten und nicht geplanten Instandhaltung über einen längeren Betrachtungszeitraum hinweg überprüft werden. Hinsichtlich der gewählten Beispielunternehmen A bis E zeigt sich, dass je nach gewähltem Szenario und nach Einstellung eines Zehnprozentigen Lernkurveneffektes die Verbundinstandhaltung eine Reduzierung der Gesamtkosten der Instandhaltung

von durchschnittlich 37,3 % bewirkt. Werden zudem mögliche Einnahmen für erbrachte Verbundleistungen von eigenen Instandhaltungsmitarbeitern berücksichtigt, können die Instandhaltungskosten effektiv sogar um 58,5 % (ohne Unternehmen B) sinken. Anhand des gewählten Beispielunternehmens B ist zudem erkennbar, dass durch erbrachte Verbundleistungen auch ein Ertrag erwirtschaftet werden kann. Die Ausfallzeiten der technischen Einheiten sinken um durchschnittlich 4,2 %. Die Verfügbarkeit erfährt eine leichte Zunahme – im Durchschnitt von 0,6 %. Durch weitere Lernkurveneffekte und mit Hilfe von Optimierungsmaßnahmen ist allerdings noch Verbesserungspotenzial vorhanden.

In Tabelle 4.14 sind die relativen Änderungen der Szenarien (vgl. Kapitel 4.5.3.1) in Bezug auf die Ausfallzeit, Verfügbarkeit und die Instandhaltungskosten dargestellt.

Tabelle 4.14: Ergebniszusammenfassung der Szenarien

Szenario $\xrightarrow{\text{ggü.}}$ Szenario	Relative Änderung [%]			
	Ausfallzeit	Verfügbarkeit	Gesamtkosten der Instandhaltung (ohne Einnahmen)	Effektive Instandhaltungskosten (mit Einnahmen)
Unternehmen A				
Sz 2 \rightarrow Sz 1	-0,3	0,0	-13,2	-34,9
Sz 3 \rightarrow Sz 1	+1,8	-0,5	-33,9	-64,8
Sz 4 \rightarrow Sz 1	-9,3	+1,5	-41,1	-71,2
Unternehmen B				
Sz 2 \rightarrow Sz 1	+5,1	-0,7	+39,6	-103,2
Sz 3 \rightarrow Sz 1	+7,9	-1,1	+9,7	-187,0
Sz 4 \rightarrow Sz 1	-0,9	+0,2	-2,2	-188,5
Unternehmen C				
Sz 2 \rightarrow Sz 1	-2,5	+0,4	-53,4	-53,4
Sz 3 \rightarrow Sz 1	-1,9	+0,3	-68,9	-68,9
Sz 4 \rightarrow Sz 1	-43,3	+7,8	-71,3	-71,3
Unternehmen D				
Sz 2 \rightarrow Sz 1	-2,0	+0,2	-49,8	-49,8
Sz 3 \rightarrow Sz 1	-5,7	-0,6	-60,9	-60,9
Sz 4 \rightarrow Sz 1	-0,2	0,0	-61,9	-61,9
Unternehmen E				
Sz 2 \rightarrow Sz 1	-5,9	+0,7	-36,2	-39,8
Sz 3 \rightarrow Sz 1	-0,2	-0,2	-57,0	-62,3
Sz 4 \rightarrow Sz 1	-5,3	+0,6	-58,8	-62,2
Arithmetischer Mittelwert [%]	-4,2	0,6	-37,3	-58,5 ohne U_B -78,7 mit U_B

Quelle: Eigene Darstellung

Die ermittelten **Ergebnisse** sind aufgrund der durchgeführten Vereinfachungen sowohl für die gewählten Fallbeispiele als auch für die Simulation in erster Linie als „*Tendenzen*“ einzuschätzen. Exakt zu erwartende Werte stellen sie nicht dar. Dennoch zeigen sie, dass die Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU gegenüber den bisher üblichen Vorgehensweisen der komplementären Instandhaltungskooperation (Fremdinstandhaltung durch die Hersteller der technischen Einheiten bzw. durch Instandhaltungsdienstleister) große Potenziale birgt und insbesondere für KMU *vorteilhaft* sein kann.

Es ist allerdings zu prüfen, inwieweit sich eine hohe Auslastung des in die Verbundinstandhaltung eingebundenen Instandhaltungspersonals auf die Personalverfügbarkeit der beteiligten Unternehmen auswirken kann. Zwar können die *ohne* die Verbundinstandhaltung zu gering ausgelasteten Instandhaltungsmitarbeiter *mit* der Verbundinstandhaltung besser ausgelastet werden, es kann aber auch notwendig werden, die personellen Instandhaltungsressourcen der beteiligten Unternehmen zu erhöhen. Tendenziell ist davon sogar auszugehen. In der Simulation konnten beispielsweise alle vier Instandhaltungsmitarbeiter des Unternehmens B ausgelastet werden, obwohl in den gewählten Szenarien jeweils nur vier technische Einheiten pro Unternehmen betrachtet wurden. So auch bei Unternehmen B, welches seine personellen Instandhaltungskapazitäten an einer deutlich höheren Anzahl von technischen Einheiten ausgerichtet hat. Die ansonsten nur im Beispielunternehmen B beschäftigten Instandhaltungsmitarbeiter wurden durch die Verbundinstandhaltung dennoch gut ausgelastet. Dies führte bei Unternehmen B zunächst zu einer verminderten Verfügbarkeit der technischen Einheiten, allerdings auch zu erheblichen Einnahmen für die erbrachten Verbundleistungen. An diesem Beispiel zeigt sich die Wirtschaftlichkeit von zusätzlichem Instandhaltungspersonal für die Verbundinstandhaltung.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass zur Koordination des Instandhaltungspersonals der Verbundinstandhaltung ein gewisser organisatorischer Aufwand notwendig ist. Es können auch nicht immer alle einzelnen Instandhaltungsleistungen der Kooperationspartner abgerechnet werden.

4.6.1 Erfolgsfaktoren der Verbundinstandhaltung

Der **Erfolg der Verbundinstandhaltung** im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation wird durch verschiedene *Faktoren* bestimmt. Bei der Untersuchung der ausgewählten Fallbeispiele und der Simulation haben sich besonders bedeutsame Faktoren herauskristallisiert. Diese Faktoren können als die **strategischen Erfolgsfaktoren**⁶ der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU bezeichnet werden.

Die **Erfolgsfaktoren der Verbundinstandhaltung** haben wesentlichen Einfluss auf die Gesamtkosten der Instandhaltung sowie auf die Verfügbarkeit der technischen Einheiten und werden im Folgenden erläutert:

- Die **Reaktionszeit** des Instandhaltungspersonals hat großen Einfluss auf die Instandhaltung und wirkt sich dabei sehr vielfältig aus:
Je *kürzer* die Reaktionszeit ist, desto *schneller* sind die Instandhaltungsmitarbeiter vor Ort, desto *früher* können sie mit den Instandhaltungstätigkeiten beginnen, desto *zügiger* können die technischen Einheiten wieder in den Leistungserstellungsprozess zurückgeführt werden und desto *geringer* fallen die Kosten der Instandhaltung aus.
- Die **räumliche Distanz** des Instandhaltungspersonals zum Einsatzort beeinflusst die Reisezeit und den Beginn der Instandhaltung:
Je *geringer* die räumliche Distanz und je *dichter* die beteiligten Unternehmen der horizontalen Instandhaltungskooperation in einer Region verteilt sind, desto *kürzer*

⁶ *Strategische Erfolgsfaktoren* – Unter strategischen Erfolgsfaktoren werden in der Regel diejenigen Faktoren verstanden, die den Unternehmenserfolg nachhaltig und langfristig bestimmen und mit denen Wettbewerbsvorteile gegenüber Konkurrenten errungen werden können [nach Rehkugler, 1989, S. 627]

und *kostengünstiger* ist die Reisezeit des Instandhaltungspersonals und desto *schneller* erfolgt die Aufnahme der Instandhaltungstätigkeiten.

- Die **Fachkompetenz** des Instandhaltungspersonals beeinflusst eine zügige Instandhaltungsdurchführung:
Je umfassender die Fachkompetenzen sind und je *höher* das Qualifikationsniveau des Instandhaltungspersonals der Verbundinstandhaltung ist, desto *schneller und fachgerechter* erfolgt die Instandhaltungsdurchführung. Eine stetige Wissenserweiterung durch regelmäßige Einsätze in der Verbundinstandhaltung führt zudem zu Lernkurveneffekten.
- Die **Stundenverrechnungssätze** des Instandhaltungspersonals wirken sich auf die direkten Instandhaltungskosten aus:
Je größer die Differenz der vereinbarten Stundenverrechnungssätze zu den Stundenverrechnungssätzen der Herstellerinstandhaltung bzw. der Instandhaltungsdienstleister ist, desto *geringer* sind die anfallenden Instandhaltungskosten.
- Die **Auslastung** des Instandhaltungspersonals hat unterschiedliche Auswirkungen auf die Instandhaltung:
Je weniger die einzelnen Instandhaltungsmitarbeiter der beteiligten Unternehmen ausgelastet sind, desto *kurzfristiger* können sie eingesetzt werden, desto *rentabler* ist deren Einsatz und desto *eher* können Einnahmen in Form von Erträgen generiert werden.

Jeder der genannten Erfolgsfaktoren bestimmt schon für sich allein die betriebliche Instandhaltung entscheidend mit. Die Faktoren treten jedoch stets in Kombination auf, sodass sie bei optimaler Konstellation beachtliche Verbesserungen für die beteiligten Unternehmer einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation ermöglichen.

4.6.2 Optimierung der Instandhaltung

Die gewählten Fallbeispiele und Simulationsexperimente der nicht geplanten Instandhaltung haben gezeigt, dass der Aufwand infolge zufällig auftretender Störungen und Ausfälle meist zu hohen direkten und indirekten Instandhaltungskosten bzw. zu langen Ausfallzeiten und somit zu einer verminderten Verfügbarkeit der technischen Einheiten führt. Die Unternehmen setzen sich dadurch einem hohen Risiko aus, auf das sie mit geeigneten Maßnahmen reagieren müssen. Das Ziel einer Optimierung muss daher eine sinnvolle Kombination der unterschiedlichen Instandhaltungsstrategien sein, um unvorhersehbare Störungen und Ausfälle möglichst zu verhindern und nicht geplante Instandhaltungsmaßnahmen zu reduzieren.

Zur Optimierung der Instandhaltung ist ein mehrstufiges Vorgehen sinnvoll, welches im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation nach den folgenden Schritten ablaufen kann:

1. Schritt: Ermittlung von Instandhaltungsinformationen und -daten

Häufig liegen *keine* Informationen über das Verschleiß- und Ausfallverhalten der technischen Einheiten vor. Daher ist es notwendig, die Schwachstellen (unzureichend funktionierende Bauteile, Komponenten, Elementbeziehungen usw.) und das Verschleißverhalten der technischen Einheiten durch eine systematische Untersuchung zu ermitteln. Mit Hilfe von Inspektionen und einer Schwachstellenanalyse können die Ursachen (Konstruktionsfehler, Herstellungsfehler, Betriebsfehler usw.) von Störungen und Ausfällen festgestellt werden und auf mögliche Verschleiß- und Ausfallmechanismen überprüft werden. Die analysierten Informationen lassen Schlussfolgerungen zu, die eine Basis für Verbesserungen bezüglich der Zuverlässigkeit der technischen Einheiten bilden [vgl. Mexis, 1992, S. 154].

In Kapitel A.1 im Anhang sind zwei **Methoden zur Zuverlässigkeitsermittlung** erläutert.

2. Schritt: Verringerung von unerwarteten Störungen und Ausfällen

Die fünf Kernelemente der *ganzheitlich integrierten Instandhaltung (TPM)* (vgl. Kapitel 2.3.1.4) stellen ein gutes Instrumentarium für die Optimierung der Instandhaltung und zugleich zur Verbesserung der Zuverlässigkeit der technischen Einheiten dar. Mit Hilfe der ermittelten Informationen und in Verbindung mit dem Instandhaltungspersonal der Verbundinstandhaltung lassen sich die fünf Kernelemente als ein wichtiger Schritt des mehrstufigen Vorgehens wie folgt umsetzen:

- Beseitigung der Schwerpunktprobleme (Schwachstellen) in Abhängigkeit von den vorhandenen Informationen und den daraus gewonnenen Erkenntnissen.
- Übertragung der Verantwortung und Integration von Instandhaltungstätigkeiten auf das Personal der entsprechenden Leistungseinheiten.
- Aufbau von Fachkompetenzen für einfache Wartungs- und Routinearbeiten durch regelmäßige Schulungs- und Trainingsmaßnahmen.
- Durchführung von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen (beispielsweise anhand konkreter Wartungspläne) zur Etablierung einer autonomen Instandhaltung.
- Instandhaltungsprävention durch Verbesserung der technischen Einheiten zur Vermeidung von zufällig auftretenden Störungen und Ausfällen.

3. Schritt: Stabilisierung der Zuverlässigkeit und angemessene Instandhaltung

Für eine dauerhafte Stabilisierung der Zuverlässigkeit der technischen Einheiten und eine Erhöhung der Verfügbarkeit sind systematisch durchgeführte Instandhaltungsmaßnahmen notwendig. Neben den Kernelementen der ganzheitlich integrierten Instandhaltung (TPM) unterstützt eine sinnvolle Kombination der Instandhaltungsstrategien eine angemessene Instandhaltung. Die Instandhaltungsstrategien basieren dabei auf den zuvor ermittelten Informationen zum Verschleiß- und Ausfallverhalten der technischen Einheiten.

Trotz einer Vielzahl an Möglichkeiten zur Auswahl einer geeigneten Kombination der Instandhaltungsstrategien bietet sich in Abhängigkeit von vorhandenen Kenntnissen und den ermittelten Informationen über das Verschleiß- und Ausfallverhalten der technischen Einheiten folgendes Schema an:

- Stehen *wenige* Informationen über das Verschleiß- und Ausfallverhalten einer technischen Einheit zur Verfügung und sind Störungen oder Ausfälle *nicht* mit hohen Ausfall- und Ausfallfolgekosten verbunden, so ist der Einsatz der *ausfallabhängigen Instandhaltungsstrategie* ausreichend.
- Stehen *nur teilweise* Informationen über das Verschleiß- und Ausfallverhalten einer technischen Einheit zur Verfügung und sind Störungen oder Ausfälle *mit höheren* Ausfall- und Ausfallfolgekosten verbunden, so ist der Einsatz der *zustandsabhängigen Instandhaltungsstrategie* sinnvoll – sofern die entsprechenden Technologien zur Zustandsermittlung bzw. -überwachung und Diagnose vorhanden sind.
- Stehen *ausreichend* Informationen über das Verschleiß- und Ausfallverhalten einer technischen Einheit zur Verfügung und sind Störungen oder Ausfälle *mit hohen* Ausfall- und Ausfallfolgekosten verbunden, so ist der Einsatz der *zeit- und leistungsabhängigen Instandhaltungsstrategie* sinnvoll.

In Abbildung 4.22 ist der genannte Zusammenhang zur Auswahl einer geeigneten Instandhaltungsstrategie dargestellt.

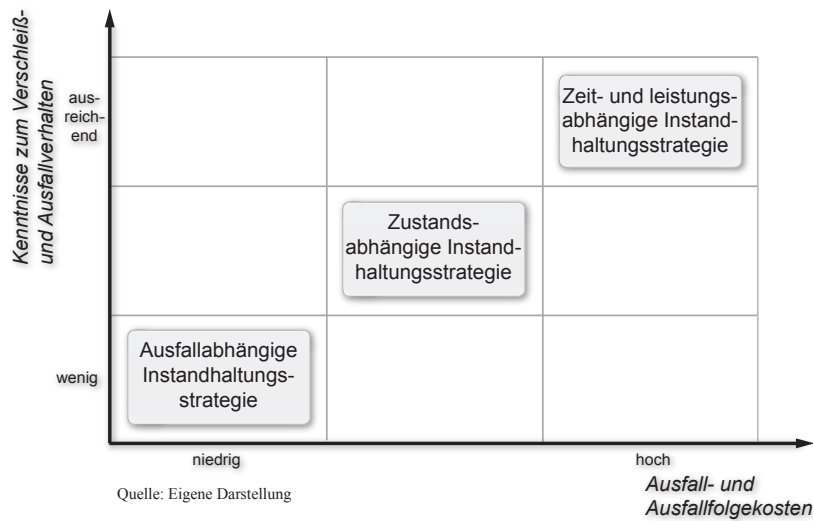


Abbildung 4.22: Strategiewahl auf Basis der Verschleißkenntnis

Die Beseitigung von Schwerpunktproblemen durch das Instandhaltungspersonal der Verbundinstandhaltung und eine autonome Instandhaltung der Produktionsmitarbeiter und Bediener der technischen Einheiten können zu einer Verringerung der zufällig auftretenden Störungen und Ausfälle führen. Unterstützt wird dies durch eine möglichst sinnvolle Kombination der Instandhaltungsstrategien, sodass sich nach einiger Zeit ein stabiler Zustand der technischen Einheiten einstellen kann und mehr geplante Instandhaltungsmaßnahmen stattfinden können. Dabei können beispielsweise auch Wartungs- und Inspektionsintervalle verlängert werden oder Wartungen durch Inspektionen ersetzt werden. Gleichzeitig wird sich die Verfügbarkeit der technischen Einheiten erhöhen und sich der finanzielle und zeitliche Aufwand für die Instandhaltung reduzieren.

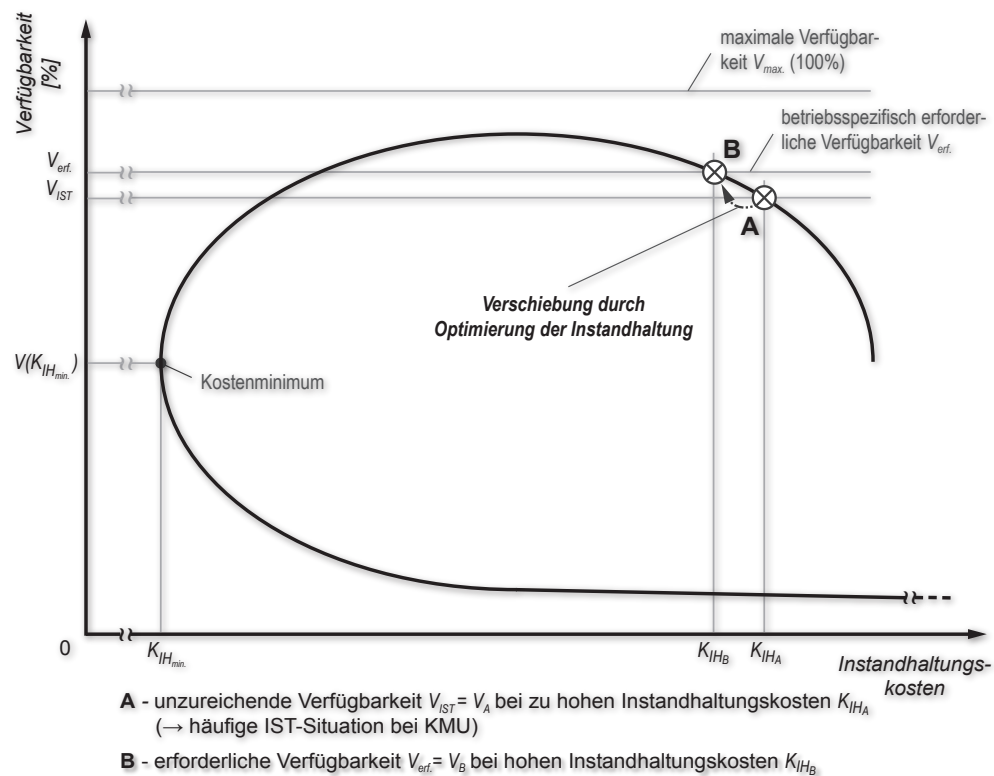
All die genannten Maßnahmen können innerhalb einer horizontalen Instandhaltungskooperation abgestimmt, vorbereitet und mittels Verbundinstandhaltung durchgeführt werden.

In Abbildung 4.23 wird der beschriebene Zusammenhang bei erhöhter Verfügbarkeit und reduzierten Instandhaltungskosten durch Punkte B dargestellt.

Dass diese Überlegungen realisierbare Möglichkeiten darstellen, das vorhandene Potenzial zu heben und eine Optimierung der Instandhaltung einzuleiten, lässt sich am Beispiel der Deutschen Lufthansa AG sehr eindrucksvoll aufzeigen. Schon allein durch die Optimierung der einzelnen Instandhaltungsprozesse – natürlich in Absprache mit den Herstellerunternehmen der Flugzeuge und den Aufsichtsbehörden – gelang es, die Verfügbarkeit der Flugzeuge (Instandhaltungsobjekte) zu erhöhen und die entsprechenden Instandhaltungskosten nicht unwesentlich zu senken. Dies geschah, ohne dass eine Gefahr für Mensch und Umwelt entstand und unter strikter Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen. [nach Joppe, 2005].

4.6.3 Vor- und Nachteile der Verbundinstandhaltung

Die **Vor- und Nachteile** der Verbundinstandhaltung, die im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU stattfindet, setzen sich größtenteils aus den Vor- und Nachteilen der Eigen- bzw. Fremdinstandhaltung zusammen (vgl. Kapitel 2.3.2.4). Dabei ergänzen sich die Vorteile beider Vorgehensweisen bzw. es kompensieren sich überwiegend deren Nachteile. Dennoch ergeben sich aus der horizontalen Instandhaltungskooperation auch neue spezifische Vor- und Nachteile für die beteiligten Unternehmen.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Bohl u. a., 1976, S. 67]

Abbildung 4.23: Erhöhte Verfügbarkeit bei reduzierten Instandhaltungskosten

• Vorteile der Verbundinstandhaltung:

- Gute Betreuung der technischen Einheiten aller beteiligten Kooperationspartner durch die gemeinschaftliche Planung und Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen und den intensiveren Einsatz von personellen und technischen Instandhaltungsressourcen.
- Hohe Qualität der Instandhaltung durch Synergien, die durch den Wissenstransfer bei identischen bzw. ähnlichen Problemen entstehen.
- Hohes Qualifikationsniveau der beteiligten Instandhaltungsmitarbeiter durch gezielte Aufteilung der notwendigen Fachkompetenz und durch bedarfsorientierte Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen.
- Schneller Wissenszuwachs beim Instandhaltungspersonal durch abwechslungsreiche Instandhaltungseinsätze, gleichmäßigere Auslastung und zunehmende Anerkennung der unternehmensübergreifenden Tätigkeiten.
- Hohe Qualität der Leistungserbringung und hohe Sicherheit der durchgeführten Instandhaltungsleistungen aufgrund von permanenter Aneignung von Wissen und tätigkeitsspezifischen Erfahrungen infolge des unternehmensübergreifenden Einsatzes.
- Gesteigerte Motivation des Instandhaltungspersonals durch höhere Wertschätzung und Verantwortung der „quasi immer eigenen“ Instandhaltungsmitarbeiter innerhalb der horizontalen Instandhaltungskooperation.
- Höhere Verfügbarkeit der technischen Einheiten durch kurze Reaktionszeiten des Instandhaltungspersonals aufgrund von kurzen Entfernungen zwischen den beteiligten Kooperationspartnern und zügiger Instandhaltungsdurchführung vor Ort.
- Kosteneinsparung durch gemeinsame Beschaffung, Nutzung und Lagerhaltung von technischen Instandhaltungsressourcen und kostenintensiven Ersatzteilen sowie gemeinsam vereinbarter Stundenverrechnungssätze des Instandhaltungspersonals gegenüber den Drittunternehmen innerhalb der Verbundinstandhaltung.

- Geringere Ausfall- und Ausfallfolgekosten der technischen Einheiten durch weniger und kürzere Ausfallzeiten und eine schnellere Rückführung der technischen Einheiten in den Leistungserstellungsprozess.
 - Einsatz von Drittunternehmen für spezielle Instandhaltungsleistungen oder bei Kapazitätsengpässen auch bei sonst enger Zusammenarbeit der Kooperationspartner jederzeit möglich.
- **Nachteile der Verbundinstandhaltung:**
- Strukturelle Veränderungen der einzelnen Unternehmen durch die partnerschaftliche Zusammenarbeit können die gewohnten Unternehmensabläufe behindern und zu einem Konkurrenzdenken mit fehlender Kooperationsbereitschaft führen.
 - Hoher Organisationsaufwand bei der Koordinierung der einzelnen Instandhaltungsmitarbeiter kann bei hohem Zeitdruck vermehrt zu Fehlern und unnötigem Mehraufwand führen.
 - Mögliche Doppelunterstellung der Instandhaltungsmitarbeiter erzeugt eventuell Konfliktpotenzial (Weisungsbefugnis) und kann zu Streitigkeiten und Machtgeboten führen. Ein „Wir-Gefühl“ wird dadurch behindert und hemmt unter Umständen den offenen Umgang mit innovativen Ideen.
 - Kurzfristiger Aufbau von Wissen bezüglich unternehmensfremder technischer Einheiten kann zu psychischen Belastungen mit schlechten Leistungen führen, wenn die Anforderungen und der Leistungsdruck zu groß sind.
 - Gefahr der Personalfuktuation der Instandhaltungsmitarbeiter in Richtung der Drittunternehmen aufgrund permanenter Aneignung von Wissen, tätigkeitsspezifischen Erfahrungen und schnellen Lernkurveneffekten.
 - Durchsetzung von Gewährleistungsansprüchen aufgrund von schlecht erbrachten Leistungen ist bei den kooperierenden Partnerunternehmen zwar möglich, allerdings kann die partnerschaftliche Zusammenarbeit darunter leiden.
 - Mehraufwand bei der Finanzabwicklung der Instandhaltungsleistungen in Verbindung mit den Kooperationspartnern, jedoch bessere Transparenz und eindeutige Zuordnung der Instandhaltungskosten.

4.7 Fazit

Unter Zuhilfenahme der Beispielunternehmen A bis E konnte eine horizontale Instandhaltungskooperation als neue Instandhaltungslösung für KMU entwickelt werden. Dazu erfolgte zunächst die Ausgestaltung der partnerschaftlichen Zusammenarbeit von KMU und anschließend der unternehmensübergreifenden Instandhaltung anhand der Gestaltungskriterien und Merkmale einer horizontalen Instandhaltungskooperation. Im Anschluss konnten die Erfolgsaussichten einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU mit Hilfe eines systematisierten Bewertungsverfahrens ermittelt werden. Dafür wurden 24 Instandhaltungsexperten aus den unterschiedlichsten Branchen zu Rate gezogen und davon 15 Experten konkret zu ihrer Einschätzung befragt. Des Weiteren konnte die Art der Vorgehensweise als Verbundinstandhaltung definiert werden und die Durchführung der Instandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation erläutert werden. Am Beispiel der gewählten Unternehmen A bis E fand dann eine Bestimmung des vorhandenen Instandhaltungsvermögens sowie der technischen Gegebenheiten der instand zu haltenden technischen Einheiten statt. Anschließend wurde anhand von typischen Fallbeispielen der geplanten und nicht geplanten Instandhaltung die Anwendung der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation erläutert. Im Vergleich zu den üblichen Vorgehensweisen der komplementären Instandhaltungskooperation mit Drittunternehmen (Hersteller der technischen Einheiten, Instandhaltungsdienstleister) konnten die Wirksamkeit der Verbundinstandhaltung demonstriert werden. Hinsichtlich der anfallenden Instandhaltungskosten konnte dabei eine beachtliche Reduzierung ermittelt werden; in Bezug auf die entstandenen Ausfallzeiten zeigte sich ebenfalls eine Verringerung.

Die zu erwartende Leistungsfähigkeit der Verbundinstandhaltung konnte durch eine Simulation des dynamischen Instandhaltungsgeschehens über einen längeren Zeitraum überprüft werden. Anhand der gewählten Beispielunternehmen A bis E zeigte sich, dass durch die Verbundinstandhaltung eine deutliche Reduzierung der Instandhaltungskosten möglich ist. Die Ausfallzeiten der technischen Einheiten reduzieren sich ebenso; die Verfügbarkeit steigt hingegen etwas an. Zur weiteren Erhöhung der Verfügbarkeit wurde ein mehrstufiges Vorgehen beschrieben, um durch eine Optimierung der Instandhaltung noch weitere Potenziale zu erschließen.

Die erlangten Erkenntnisse bezüglich einer horizontalen Instandhaltungskooperation bestätigen die fünfte, sechste, siebte und achte These (vgl. Kapitel 1.2). Sie zeigen, dass der schon von Beginn an angedachte Lösungsansatz der *„partnerschaftlichen Zusammenarbeit von lokal ansässigen KMU zum Zweck der gemeinsamen Instandhaltung“* nicht nur die allgemeinen Anforderungen an eine erfolgreiche Instandhaltung bei KMU erfüllt (vgl. Kapitel 4.1), sondern dass eine horizontale Instandhaltungskooperation auch eine sinnvolle Vorgehensweise der kooperativen Instandhaltung bei KMU darstellt.

5 Schlussbetrachtung

Durch die Globalisierung der Märkte und damit eine stärker werdende Konkurrenz aus dem Ausland haben sich für viele Unternehmen die Marktgegebenheiten verändert. Stetig steigende Kundenerwartungen bei höherer Individualisierung, kürzer werdende Lieferzeiten und ein tendenzieller Rückgang der bisherigen Märkte bewirken wachsenden Kostendruck. Vermehrte Just-in-time-Belieferungen, stetige Verkürzung der Durchlaufzeiten, steigende Komplexität und zunehmender Automatisierungsgrad der ohnehin kapitalintensiven technischen Einheiten sowie sich weiter ausdehnende Betriebszeiten und fortlaufende Reduzierung von Materialbeständen und Terminreserven, belasten die eh stark beanspruchten Unternehmen zusätzlich. Die gezielte Wahl einer geeigneten Unternehmensstrategie wird dadurch unerlässlich. Gleichzeitig sind die Entwicklung von innovativen Produkten und Dienstleistungen sowie eine kontinuierliche Produktivitätssteigerung durch den Einsatz modernster Technologien und eine ständige Verbesserung der Qualität erforderlich.

Im Hinblick auf die beschriebene Situation haben stets verfügbare und hoch effiziente technische Einheiten für viele Produktions-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen der unterschiedlichsten Branchen eine neue Bedeutung erlangt. Unerwartete Störungen oder Ausfälle von besonders wichtigen technischen Einheiten sind daher zwingend zu vermeiden. Doch leider werden insbesondere bei KMU wichtige technische Einheiten häufig an der Leistungsgrenze betrieben. Nicht selten kommt es dabei zu Unterbrechungen, die sogar zu einem Ausfall des kompletten Leistungserstellungsprozesses führen können. Vermehrte Engpässe in der Wertschöpfung sind die Folge. Scheinbare Reservekapazitäten werden oft falsch eingeschätzt und mögliche Folgen werden nicht bedacht.

In diesem Zusammenhang kommt der betrieblichen Instandhaltung eine „*Schlüsselrolle*“ zu. Als integrale Querschnittsfunktion bestimmt sie die Wettbewerbsfähigkeit und somit die Zukunft eines Unternehmens entscheidend mit. Dennoch wird der betrieblichen Instandhaltung gerade bei KMU nur wenig Beachtung geschenkt. In vielen Fällen wird sie regelrecht vernachlässigt. Das eigentliche Potenzial der betrieblichen Instandhaltung wird nicht erkannt. Häufig fehlt aber auch das notwendige Instandhaltungsvermögen, obwohl eine professionelle und verantwortungsbewusste Instandhaltung auch für KMU viele Vorteile bietet.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher unter Berücksichtigung der spezifischen Gegebenheiten von KMU eine geeignete Möglichkeit für die betriebliche Instandhaltung bei KMU entwickelt. Darüber hinaus wurden deren Erfolgsaussichten sowie Leistungsfähigkeit bestimmt. Als denkbarer Ansatz galt bereits anfänglich die „*partnerschaftliche Zusammenarbeit von lokal ansässigen KMU zum Zweck der gemeinsamen Instandhaltung*“, da insbesondere KMU oft über sehr ähnliche technische Einheiten verfügen und bei auftretenden Störungen und Ausfällen schnelle und kostengünstige Lösungen kennen. Die Bündelung von Fähigkeiten, Erfahrungen und personellen bzw. technischen Instandhaltungsressourcen galt daher als denkbare Instandhaltungslösung, um das fehlende Instandhaltungsvermögen von KMU zu kompensieren und deren Wettbewerbsfähigkeit zu sichern bzw. auszubauen.

5.1 Zusammenfassung

Zu Beginn der vorliegenden Arbeit war eine ausführliche Auseinandersetzung mit den theoretischen Grundlagen der Instandhaltung notwendig, um einen Überblick über den Themenbereich der Instandhaltung zu schaffen und um zu überprüfen, inwieweit die Instandhaltungstheorie bereits geeignete Lösungen für die betriebliche Instandhaltung bei KMU aufzeigt. Zur Veranschaulichung wur-

de mit Hilfe von Kriterien und Merkmalen der Instandhaltung ein Grundsche ma als konzentrierte Darstellung der Instandhaltung entwickelt. Da sich die Instandhaltung mit unterschiedlichen Sachverhalten darstellt und die Instandhaltungstheorie in der Regel vom Idealzustand mit ausreichend vorhandenem Instandhaltungsvermögen ausgeht, wurde es notwendig, die Situation der betrieblichen Instandhaltung in der Praxis zu untersuchen. Dazu erfolgte eine Analyse unterschiedlicher Instandhaltungsstudien, die von verschiedenen Forschungsinstituten und einer international agierenden Unternehmensberatung durchgeführt wurden. Im Ergebnis wurde schnell klar: Die aktuelle Instandhaltungstheorie lässt spezifische Vorgehensweisen für die betriebliche Instandhaltung bei KMU vermissen. Für die Praxis bedeutet dies, dass Instandhaltungsleistungen an Drittunternehmen vergeben werden. Außerdem konnte ermittelt werden, dass große Unternehmen bei der betrieblichen Instandhaltung aus organisatorisch-strukturellen und finanziellen Gründen oft erfolgreicher sind als KMU.

Im Anschluss fand eine ausführliche Auseinandersetzung mit den theoretischen Grundlagen der partnerschaftlichen Zusammenarbeit von Unternehmen statt. Dazu erfolgte eine Erörterung von betrieblichen Kooperationen und von Netzwerken als spezifische Formen der partnerschaftlichen Zusammenarbeit von Unternehmen. Unter Zuhilfenahme von Gestaltungskriterien und Merkmalen wurde auch hier je ein Grundsche ma als konzentrierte Darstellung von Kooperationen bzw. von Netzwerken entwickelt. Da die betriebliche Instandhaltung bisher nicht als Gegenstand kooperativer Beziehungen ermittelt werden konnte, wurden anschließend die strukturellen Grundlagen für die Bestimmung einer kooperativen Instandhaltung erarbeitet. Dazu mussten die allgemeinen Gestaltungskriterien und Merkmale kooperativer Beziehungen auf die Gegebenheiten der Instandhaltung übertragen werden, um damit die Basis für verschiedene Vorgehensweisen der kooperativen Instandhaltung zu schaffen. Als eine übliche Vorgehensweise bei der betrieblichen Instandhaltung konnte eine komplementäre Instandhaltungskooperation mit Drittunternehmen für Instandhaltungsleistungen ermittelt werden. Des Weiteren konnte das vierteljährlich vom Fachgebiet Fabrikbetrieb der Technischen Universität Ilmenau organisierte Instandhaltertreffen als ein kooperatives Instandhaltungsnetzwerk von Unternehmen identifiziert werden, welches eine geeignete Möglichkeit zum Kennenlernen, Austausch von Informationen und zur Diskussion verschiedener Gesichtspunkte der Instandhaltung bietet. Durch die Erweiterung der vorhandenen Gestaltungskriterien und Merkmale der kooperativen Instandhaltung ließ sich zusätzlich eine horizontale Instandhaltungskooperation als eine mögliche Lösung für die betriebliche Instandhaltung bei KMU bestimmen.

Im weiteren Verlauf wurden allgemeine Anforderungen an den Lösungsansatz der horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU formuliert und Beispielunternehmen aus den unterschiedlichsten Branchen beschrieben, die im Sinne der Empfehlung der Kommission der Europäischen Gemeinschaft als KMU einzustufen sind und gleichzeitig typische Unternehmen der genannten Unternehmensgruppe repräsentieren. Danach erfolgte die Ausgestaltung einer horizontalen Instandhaltungskooperation für KMU. Hierfür wurde zuerst die partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen KMU beschrieben und dann die unternehmensübergreifende Instandhaltung konzipiert. Zum besseren Verständnis erfolgte immer wieder die Übertragung der theoretischen Ergebnisse auf die gewählten Beispielunternehmen, anhand derer die entsprechenden Einzelheiten veranschaulicht werden konnten. In diesem Zusammenhang zeigte sich, dass in dieser Arbeit die Art der kooperativen Instandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU als Verbundinstandhaltung zu bezeichnen ist. Zur Einschätzung der Erfolgsaussichten einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU wurde ein systematisiertes Bewertungsverfahren entwickelt. Damit konnten die Stärken und Schwächen bzw. Chancen und Risiken einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU nach technischen, wirtschaftlichen, organisatorischen und sozialen Gesichtspunkten beurteilt werden und mit Hilfe eines Erfolgsnutzenwertes (absoluter Zahlenwert), der die Erfolgsaussichten einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU repräsentiert, eingeschätzt werden. Hierzu wurden Instandhaltungsexperten aus den unterschiedlichsten Branchen befragt, die allesamt einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU sehr große Erfolgsaussichten attestierten.

Anschließend wurde mit Fokus auf die gewählten Beispielunternehmen die Durchführung einer horizontalen Instandhaltungskooperation erörtert. Dazu erfolgte zunächst eine Bestimmung der tatsächlichen personellen und technischen Gegebenheiten der einzelnen Unternehmen. Des Weiteren

fand eine Klassifizierung der technischen Einheiten und eine Zuordnung des Instandhaltungspersonals hinsichtlich der vorhandenen Fachkompetenzen in Bezug auf Tätigkeitsschwerpunkte statt. Dies gelang durch die Einführung einer Technologie- und Instandhaltungskennzahl und in Folge einer Einteilung der betrachteten technischen Einheiten nach Technologie- und Instandhaltungsklassen. Unter Zuhilfenahme typischer Fallbeispiele der geplanten und nicht geplanten Instandhaltung konnten weiterhin die Anwendung sowie die Wirksamkeit der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation aufgezeigt werden. Ein Vergleich mit den üblichen Vorgehensweisen der komplementären Instandhaltungskooperation (Fremdinstandhaltung durch die Hersteller der technischen Einheiten bzw. durch Instandhaltungsdienstleister) zeigte für die gewählten Beispiele, dass eine horizontale Instandhaltungskooperation von KMU enormes Potenzial birgt. Die Gesamtkosten der Instandhaltung verringern sich um etwa 23 %, die Ausfallzeiten der technischen Einheiten um rund 15 %.

Aufgrund der hohen Dynamik der Instandhaltungsprozesse in der betrieblichen Praxis waren allerdings noch keine hinreichend genauen Aussagen über die Leistungsfähigkeit der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation möglich. Abhilfe schaffte eine Simulation, mit deren Hilfe eine horizontale Instandhaltungskooperation der gewählten Beispielunternehmen A bis E abgebildet werden konnte, um verschiedene Szenarien der geplanten und nicht geplanten Instandhaltung einer längerfristigen Überprüfung zu unterziehen. Im Vergleich mit der üblichen Vorgehensweise der komplementären Instandhaltungskooperation (Eigeninstandhaltung und Fremdinstandhaltung – IST-Situation in der Praxis) konnte in Abhängigkeit der Szenarien eine Reduzierung der Instandhaltungskosten von durchschnittlich 37,3 % nachgewiesen werden. Die Ausfallzeiten sanken dabei um 4,2 % bei einer gleichzeitigen Steigerung der Verfügbarkeit der technischen Einheiten um 0,6 %. Je nach Anwendungsfall und unter Berücksichtigung der Einnahmen für die erbrachten Verbundleistungen der eigenen Instandhaltungsmitarbeiter konnte sogar eine Reduzierung der Instandhaltungskosten von bis zu 58,5 % aufgezeigt werden. Die ermittelten Ergebnisse sind zwar aufgrund der durchgeführten Vereinfachungen eher als Tendenzen einzuschätzen, dennoch zeigen sie das vorhandene Potenzial der betrieblichen Instandhaltung. Nach einiger Zeit werden sich zudem Lernkurveneffekte bei den Instandhaltungsmitarbeitern der Verbundinstandhaltung einstellen, die eine Erweiterung der Fachkompetenz bzw. eine Erhöhung der Qualifikation bewirken können. Ferner birgt die Instandhaltung der einzelnen Unternehmen bislang ungenutzte Optimierungspotenziale zur Reduzierung der Gesamtkosten der Instandhaltung sowie zur Erhöhung der Verfügbarkeit der technischen Einheiten. Bei zu geringer Auslastung des eigenen Instandhaltungspersonals ist außerdem die Erwirtschaftung eines Ertrages möglich, indem die freien Instandhaltungskapazitäten der Verbundinstandhaltung zur Verfügung gestellt werden können.

Insgesamt hat sich im Verlauf dieser Arbeit gezeigt, dass die partnerschaftliche Zusammenarbeit in horizontaler Ausrichtung von selbständigen Unternehmen mit geringer räumlicher Distanz zueinander zum Zweck der gemeinsamen Instandhaltung nicht nur eine geeignete, sondern auch eine überaus sinnvolle Vorgehensweise für die betriebliche Instandhaltung bei KMU darstellt. Die organisatorisch-strukturellen und finanziellen Nachteile von KMU gegenüber großen Unternehmen können ausgeglichen werden. Die nachhaltigen Vorteile der Verbundinstandhaltung einer horizontalen Instandhaltungskooperation sind in deren Erfolgsfaktoren begründet. Die Instandhaltungstheorie hat sich mit diesem Lösungsansatz bisher nicht befasst. Zukünftig könnte allerdings eine horizontale Instandhaltungskooperation von KMU in der betrieblichen Praxis eine wichtige Rolle spielen und zur Sicherstellung einer betriebsspezifisch erforderlichen Verfügbarkeit und zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit von technischen Einheiten ihre Anwendung finden. Die betriebliche Instandhaltung wird dadurch spürbare Auswirkungen auf die Produktqualität, die Kundenbindung und nicht zuletzt auf die allgemeine Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen haben. Eine horizontale Instandhaltungskooperation kann zudem zu einer nachhaltigen und ökonomischen Entwicklung der Unternehmen beitragen.

In Abbildung 5.1 wird der beschriebene Zusammenhang nach erfolgreicher Umsetzung der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungskooperation anhand der gesteigerten Verfügbarkeit bei reduzierten Instandhaltungskosten durch Punkt C dargestellt.

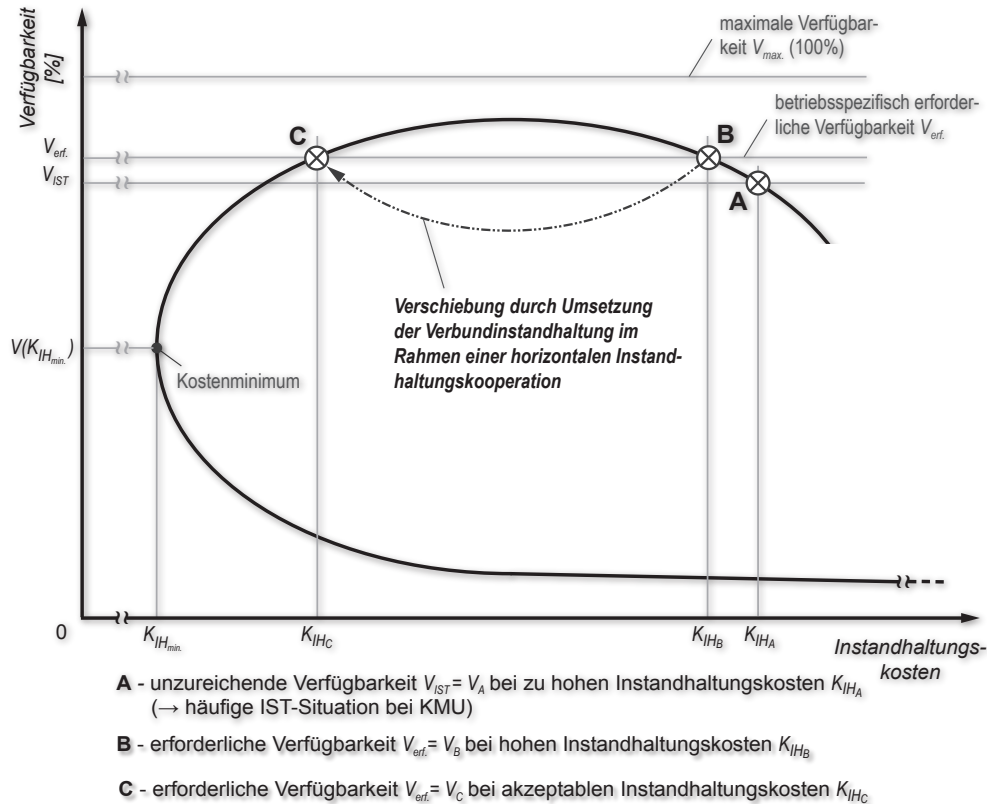


Abbildung 5.1: Gesteigerte Verfügbarkeit bei reduzierten Instandhaltungskosten

5.2 Ausblick

Nachdem unter Berücksichtigung der spezifischen Gegebenheiten und unabhängig von der Branchenzugehörigkeit der KMU eine völlig neue Möglichkeit für die betriebliche Instandhaltung ermittelt wurde und deren Erfolgsaussichten sowie Leistungsfähigkeit aufgezeigt wurden, kann nun die Umsetzung einer horizontalen Instandhaltungskooperation erfolgen. Dazu müssen sich zunächst Unternehmen finden, die im Bereich der betrieblichen Instandhaltung zusammenarbeiten wollen. Eine Teilnahme an Instandhaltertreffen unterstützt hierbei vor allem das Kennenlernen von möglichen Partnern für eine engere kooperative Zusammenarbeit. Durch die in den Instandhaltertreffen geknüpften Verbindungen kann es dann gelingen, geeignete Partner für eine horizontale Instandhaltungskooperation zu finden. Die Transformation der bisher bei vielen KMU vorhandenen Instandhaltungswüsten führt somit über ein kooperatives Instandhaltungsnetzwerk in Richtung einer horizontalen Instandhaltungskooperation. Die etappenweise Integration in den betrieblichen Alltag ist dann ein wichtiger Schritt auf dem Weg hin zu einer professionellen und verantwortungsbewussten Instandhaltung – insbesondere für KMU.

In Abbildung 5.2 ist die Transformation der bisherigen Instandhaltung von KMU hin zu einer professionellen und verantwortungsbewussten Instandhaltung bei KMU dargestellt.

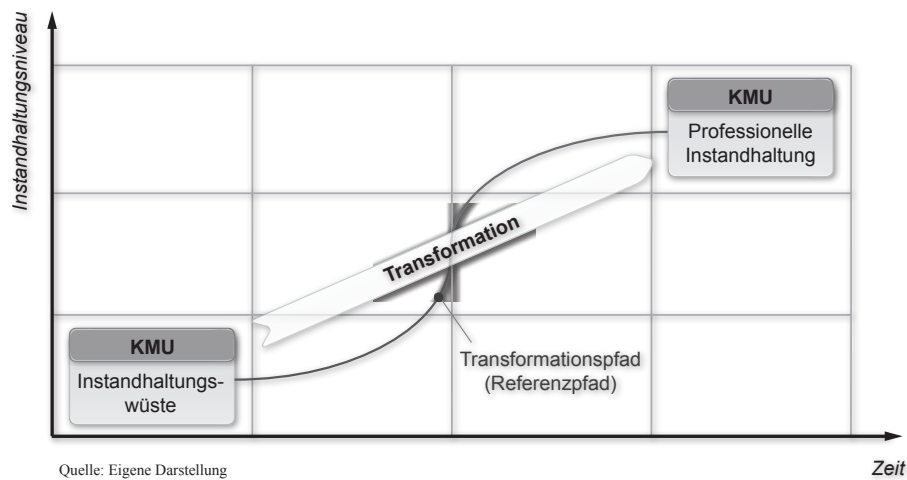


Abbildung 5.2: Transformation der betrieblichen Instandhaltung bei KMU

Die detaillierte Umsetzung einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation von KMU entlang eines Transformationspfades soll Aufgabe und Inhalt weiterführender Arbeiten sein. Vor der Umsetzung, während des Betriebes und nach einiger Zeit der Anwendung sind jedoch noch folgende Fragestellungen zu klären:

- In welchen Schritten kann der detaillierte Aufbau einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation von KMU genau erfolgen und wie lange kann es dauern, bis eine stabile Anwendung der Verbundinstandhaltung erfolgen kann?
- Welche Unternehmen sind für eine horizontale Instandhaltungs Kooperation am besten geeignet; gibt es möglicherweise Einschränkungen (Produktions-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen, Branchen)?
- Bis zu welcher räumlichen Distanz zwischen den beteiligten Unternehmen bzw. zu den Stützpunkten der Hersteller und Instandhaltungsdienstleister ist eine horizontale Instandhaltungs Kooperation möglich (ländlicher Raum, Ballungszentren, Industriegebiete), um entsprechende Vorteile der Verbundinstandhaltung zu erlangen?
- Welche rechtlichen und versicherungstechnischen Gegebenheiten sind bei der Verbundinstandhaltung im Rahmen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation durch die beteiligten Unternehmen zu beachten?
- Welche organisatorischen Maßnahmen sind notwendig, um bei unternehmensübergreifender Tätigkeit jederzeit die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) wie auch die Unfallverhütungsvorschriften (UVV) einzuhalten?
- Wie muss ein organisatorischer Ablauf gestaltet sein, damit die Verbundinstandhaltung auch im Konfliktfall eine entsprechende Verfügbarkeit der technischen Einheiten sicherstellen kann? Reicht die Entscheidungsregel zur Festlegung der Auftragsreihenfolge nach Priorität aus, ohne dass ein Unternehmen der Kooperation benachteiligt wird?

Nach vollständiger Umsetzung einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation von KMU und erfolgreicher Durchführung der Verbundinstandhaltung kann überlegt werden, ob die Instandhaltungsmitarbeiter der einzelnen Unternehmen über ein gemeinsam zu gründendes Instandhaltungsunternehmen (Gemeinschaftsunternehmen/Joint Venture) zu beschäftigen sind und ob dort verantwortliche Mitarbeiter eingesetzt werden können, welche die Instandhaltungstätigkeiten in allen an der Kooperation beteiligten Unternehmen planen und koordinieren.

„Innovationen sind nicht nur Ideen und Prinzipien, die patentiert und durch Gründung eines Unternehmens verbreitet und so der Mehrheit zugänglich gemacht werden können, sondern auch die Anwendung schon bekannter Ideen und Prinzipien in neuen Bereichen, können überaus innovativ und für viele Unternehmen sehr nutzbringend und hilfreich sein.“

PROF. DR. GESINE SCHWAN

Ehemalige Präsidentin der Europa-Universität Viadrina in Frankfurt an der Oder

Festvortrag zum dies academicus an der Technischen Universität Ilmenau

Ilmenau, 10. Mai 2006

Abbildungsverzeichnis

1.1	Definition der Unternehmensklassen	1
1.2	Marktgegebenheiten der Unternehmen	2
1.3	Haupt- und Nebengeschäftsprozesse eines Produktionsunternehmens	4
1.4	Entwicklung der Instandhaltung	7
1.5	Forschungsfeld dieser Arbeit	10
2.1	Grundmaßnahmen der Instandhaltung	13
2.2	Verlauf des Abnutzungsvorrats	14
2.3	Zustandsänderung einer technischen Einheit ohne Instandsetzung	17
2.4	Verlauf der Ausfallwahrscheinlichkeit $F(t)$	18
2.5	Verlauf der Überlebenswahrscheinlichkeit $R(t)$	19
2.6	Beschreibung der Ausfalldichte $f(t)$	19
2.7	Arten der Redundanz	21
2.8	Ausfallratenmodell „Badewannenkurve“	22
2.9	Verschiedene Ausfallratenmodelle	24
2.10	Aufgaben des strategischen Instandhaltungsmanagements	27
2.11	Systematik der Instandhaltungsdurchführung	29
2.12	Risikomatrix	35
2.13	Kernelemente der ganzheitlich integrierten Instandhaltung	38
2.14	Gestaltung des operativen Instandhaltungsmanagements	42
2.15	Einlinien-Organisation	43
2.16	Stablinien-Organisation	44
2.17	Einfache Matrix-Organisation	45
2.18	Handlungs- und Vorgehensrahmen der Ablauforganisation der Instandhaltung	46
2.19	Aufgaben des operativen Instandhaltungsmanagements	48
2.20	Eignung für den Fremdbezug von Instandhaltungsleistungen	55
2.21	Abgrenzung zwischen direkten und indirekten Instandhaltungskosten	56
2.22	Entgangene Deckungsbeiträge durch den Ausfall einer technischen Einheit	58
2.23	Folgen bei Ausfall von einem Element einer technischen Einheit	59
2.24	Idealtypische Gesamtkostenverlaufskurve der Instandhaltung	60
2.25	Allgemeines Grundschema der Instandhaltung	61
2.26	Studien der Instandhaltung	62
2.27	Vermeidung von Störungen und Ausfällen	64
2.28	Bedeutung der Instandhaltung	64
2.29	Art, Alter und Nutzungsdauer der technischen Einheiten	65
2.30	Gründe für Störungen oder Ausfälle von technischen Einheiten	66
2.31	Automatisierungsgrad und Verfügbarkeit der technischen Einheiten	67
2.32	Allgemeine Nutzung von Instandhaltungsstrategien und -konzeptionen	68
2.33	Angepasste Nutzung von Instandhaltungsstrategien und -konzeptionen	69
2.34	Nutzung von Instandhaltungsstrategien und -konzeptionen bei KMU	69
2.35	Gründe für die Fremdvergabe von Instandhaltungsaufgaben	70
2.36	Personelle Aufteilung zwischen Eigen- und Fremdinstandhaltung	71
2.37	Anteil der Instandhaltungsleistungen von Drittunternehmen	71
2.38	Bereiche und Intensität der Zusammenarbeit	72
2.39	Verbreitung von Teleserviceanwendungen	75
2.40	Instandhaltungsaufwendungen bezogen auf die Gesamtkosten	76
2.41	Unzureichende Verfügbarkeit bei zu hohen Instandhaltungskosten	78

2.42	Erfüllungsgrad der betrieblichen Instandhaltung	79
2.43	Instandhaltungswüste bei KMU	79
3.1	Grundmodell einer Kooperation	82
3.2	Ausrichtungen von betrieblichen Kooperationen	86
3.3	Allgemeines Grundsche ma von Kooperationen	91
3.4	Grundmodell eines Netzwerkes	92
3.5	Kooperationen nach der Anzahl der Beziehungen	94
3.6	Einfaches und komplexes Netzwerk	95
3.7	Strukturen von Netzwerken	96
3.8	Unternehmensnetzwerk mit aktiven und passiven Akteuren	97
3.9	Allgemeines Grundsche ma von Netzwerken	99
3.10	Allgemeine Grundstruktur der komplementären Instandhaltungskooperation	105
3.11	Allgemeine Grundstruktur eines kooperativen Instandhaltungsnetzwerkes	106
3.12	Allgemeine Grundstruktur einer horizontalen Instandhaltungskooperation	107
3.13	Allgemeines Grundsche ma der kooperativen Instandhaltung	108
3.14	Spezifisches Grundsche ma der komplementären Instandhaltungskooperation	109
3.15	Spezifisches Grundsche ma eines kooperativen Instandhaltungsnetzwerkes	110
3.16	Spezifisches Grundsche ma einer horizontalen Instandhaltungskooperation	111
4.1	Horizontale Instandhaltungskooperation am Beispiel des Unternehmens C	119
4.2	Entscheidungsmatrix nach Priorität	120
4.3	Entscheidungsregel zur Festlegung einer Reihenfolge nach Priorität	121
4.4	Priorität der Wertebereiche	126
4.5	Bewertungsskala zur Teilnutzenbestimmung	127
4.6	Ergebnisse der Gesamtnutzenermittlung	129
4.7	Systematik des Erfolgsnutzenwertes	130
4.8	Ergebnisse der Erfolgsnutzenwertbestimmung	130
4.9	Tätigkeitsschwerpunkte der Instandhaltung und Berufsgruppen	132
4.10	Kriterien zur Bestimmung von technischen Einheiten	135
4.11	Bedeutung von technischen Einheiten	136
4.12	Ergebnisse des Fallbeispiels 1 (1.1 bis 1.3)	142
4.13	Ergebnisse des Fallbeispiels 2 (2.1 bis 2.3)	145
4.14	Ergebnisse des Fallbeispiels 3 (3.1 bis 3.3)	147
4.15	Ergebnisse des Fallbeispiels 3 (3.4 bis 3.6)	147
4.16	Ebenen des Simulationsmodells	149
4.17	Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens A	152
4.18	Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens B	153
4.19	Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens C	154
4.20	Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens D	155
4.21	Simulationsergebnisse der Szenarien 1 bis 4 des Unternehmens E	156
4.22	Strategieauswahl auf Basis der Verschleißkenntnis	162
4.23	Erhöhte Verfügbarkeit bei reduzierten Instandhaltungskosten	163
5.1	Gesteigerte Verfügbarkeit bei reduzierten Instandhaltungskosten	170
5.2	Transformation der betrieblichen Instandhaltung bei KMU	171
A.1	Ablaufdiagramm der Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)	194
A.2	Beispiel zum Aufbau eines Fehlerbaums	196
A.3	System ohne Redundanz	197
A.4	System mit Redundanz	197
C.1	Zeitliche Abfolge des Fallbeispiels 1 (1.1 bis 1.3)	237
C.2	Zeitliche Abfolge des Fallbeispiels 2 (2.1 bis 2.3)	241
C.3	Zeitliche Abfolge des Fallbeispiels 3 (3.1 bis 3.3)	245

C.4	Zeitliche Abfolge des Fallbeispiels 3 (3.4 bis 3.6)	249
C.5	Vorgehensweise zur Durchführung einer Simulationsstudie	256

Tabellenverzeichnis

2.1	Beispiele für die Instandhaltungsrate	16
2.2	Häufigkeit verschiedener Ausfallratenmodelle	24
2.3	Verfügbarkeitswerte verschiedener Wirtschaftszweige und Branchen	26
3.1	Abgrenzung der Grundformen einer Kooperation	83
3.2	Unterschiede zwischen Netzwerken und Kooperationen	94
4.1	„Skills-Matrix“ des Instandhaltungspersonals der Beispielunternehmen	133
4.2	Zuordnung des Instandhaltungspersonals	134
4.3	Ausgewählte technische Einheiten des Beispielunternehmens A	137
4.4	Technologie- und Instandhaltungskennzahlen des Beispielunternehmens A	138
4.5	Fallbeispiel 1: Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten	141
4.6	Fallbeispiel 2: Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten	144
4.7	Fallbeispiel 3: Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten	146
4.8	Simulationsergebnisse des Unternehmens A	151
4.9	Simulationsergebnisse des Unternehmens B	152
4.10	Simulationsergebnisse des Unternehmens C	154
4.11	Simulationsergebnisse des Unternehmens D	155
4.12	Simulationsergebnisse des Unternehmens E	156
4.13	Ergebniszusammenfassung der Fallbeispiele	157
4.14	Ergebniszusammenfassung der Szenarien	158
A.1	Zuverlässigkeitswerte der Einheiten	197
A.2	Kenndaten zur Ermittlung der Verfügbarkeit bzw. der Unverfügbarkeit	198
A.3	Daten zur Berechnung der Gesamtanlageneffektivität	199
B.1	Matrix des „Paarweisen Vergleichs“	203
B.2	Instandhaltungsexperten	204
B.3	Gewichtung der Wertebereiche	205
B.4	Technische Stärken einer horizontalen Instandhaltungskooperation	206
B.5	Wirtschaftliche Stärken einer horizontalen Instandhaltungskooperation	206
B.6	Organisatorische Stärken einer horizontalen Instandhaltungskooperation	207
B.7	Soziale Stärken einer horizontalen Instandhaltungskooperation	207
B.8	Technische Chancen einer horizontalen Instandhaltungskooperation	208
B.9	Wirtschaftliche Chancen einer horizontalen Instandhaltungskooperation	208
B.10	Organisatorische Chancen einer horizontalen Instandhaltungskooperation	209
B.11	Soziale Chancen einer horizontalen Instandhaltungskooperation	209
B.12	Technische Schwächen einer horizontalen Instandhaltungskooperation	209
B.13	Wirtschaftliche Schwächen einer horizontalen Instandhaltungskooperation	210
B.14	Organisatorische Schwächen einer horizontalen Instandhaltungskooperation	210
B.15	Soziale Schwächen einer horizontalen Instandhaltungskooperation	211
B.16	Technische Risiken einer horizontalen Instandhaltungskooperation	211
B.17	Wirtschaftliche Risiken einer horizontalen Instandhaltungskooperation	211
B.18	Organisatorische Risiken einer horizontalen Instandhaltungskooperation	212
B.19	Soziale Risiken einer horizontalen Instandhaltungskooperation	212
B.20	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den technischen Stärken	213

B.21	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den wirtschaftlichen Stärken	214
B.22	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den organisatorischen Stärken	215
B.23	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den sozialen Stärken	216
B.24	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den technischen Chancen	217
B.25	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den wirtschaftlichen Chancen	218
B.26	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den organisatorischen Chancen	219
B.27	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den sozialen Chancen	220
B.28	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den technischen Schwächen	221
B.29	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den wirtschaftlichen Schwächen	222
B.30	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den organisatorischen Schwächen	223
B.31	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den sozialen Schwächen	224
B.32	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den technischen Risiken	225
B.33	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den wirtschaftlichen Risiken	226
B.34	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den organisatorischen Risiken	227
B.35	Ergebnisse der Expertenbefragung zu den sozialen Risiken	228
B.36	Ergebnisse der Gesamtnutzenbestimmung	229
B.37	Erfolgsnutzenwert der Stärken und Schwächen	229
B.38	Erfolgsnutzenwert der Chancen und Risiken	229
C.1	Ausgewählte technische Einheiten des Beispielunternehmens B	231
C.2	Ausgewählte technische Einheiten des Beispielunternehmens C	232
C.3	Ausgewählte technische Einheiten des Beispielunternehmens D	233
C.4	Ausgewählte technische Einheiten des Beispielunternehmens E	234
C.5	Technologie- und Instandhaltungskennzahlen des Unternehmens B	235
C.6	Technologie- und Instandhaltungskennzahlen des Unternehmens C	235
C.7	Technologie- und Instandhaltungskennzahlen des Unternehmens D	236
C.8	Technologie- und Instandhaltungskennzahlen des Unternehmens E	236
C.9	Fallbeispiel 1.1 – Verbundinstandhaltung	238
C.10	Fallbeispiel 1.2 – Instandhaltungsdienstleister	239
C.11	Fallbeispiel 1.3 – Herstellerinstandhaltung	240
C.12	Fallbeispiel 2.1 – Verbundinstandhaltung und Herstellerinstandhaltung	242
C.13	Fallbeispiel 2.2 – Instandhaltungsdienstleister und Herstellerinstandhaltung	243
C.14	Fallbeispiel 2.3 – Herstellerinstandhaltung	244
C.15	Fallbeispiel 3.1 – Verbundinstandhaltung und Instandhaltungsdienstleister	246
C.16	Fallbeispiel 3.2 – Verbundinstandhaltung und Herstellerinstandhaltung	247
C.17	Fallbeispiel 3.3 – Instandhaltungsdienstleister und Herstellerinstandhaltung	248
C.18	Fallbeispiel 3.4 – Verbundinstandhaltung	250
C.19	Fallbeispiel 3.5 – Instandhaltungsdienstleister	251
C.20	Fallbeispiel 3.6 – Herstellerinstandhaltung	252
C.21	Entfernungen zwischen den Beispielunternehmen A bis E	257
C.22	Betriebsdaten der technischen Einheiten des Beispielunternehmens A	260
C.23	Betriebsdaten der technischen Einheiten des Beispielunternehmens B	261
C.24	Betriebsdaten der technischen Einheiten des Beispielunternehmens C	262
C.25	Betriebsdaten der technischen Einheiten des Beispielunternehmens D	263
C.26	Betriebsdaten der technischen Einheiten des Beispielunternehmens E	264
C.27	Informationen der Instandhaltungsakteure des Beispielunternehmens A	265
C.28	Informationen der Instandhaltungsakteure des Beispielunternehmens B	266
C.29	Informationen der Instandhaltungsakteure des Beispielunternehmens C	267
C.30	Informationen der Instandhaltungsakteure des Beispielunternehmens D	268
C.31	Informationen der Instandhaltungsakteure des Beispielunternehmens E	269
C.32	Simulationsergebnisse der Szenarien 1 und 2 der Unternehmen A, B und C	270
C.33	Simulationsergebnisse der Szenarien 1 und 2 der Unternehmen D und E	271
C.34	Simulationsergebnisse der Szenarien 3 und 4 der Unternehmen A, B und C	272
C.35	Simulationsergebnisse der Szenarien 3 und 4 der Unternehmen D und E	273

Literaturverzeichnis

- [Adam 1989] ADAM, Sarwat: *Optimierung der Anlageninstandhaltung: Verfügbarkeitsanforderung, Ausfallfolgekosten und Ausfallverhalten als Bestimmungsgrößen wirtschaftlich sinnvoller Instandhaltungsstrategien*, Bd. 34: *Technological economics*, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1989
- [Al-Radhi u. Heuer 1995] AL-RADHI, Mehdi; HEUER, Jörg: *Total productive maintenance: Konzept, Umsetzung, Erfahrung*, Hanser Verlag, München, 1995
- [Alcalde Rasch 2000] ALCALDE RASCH, Alejandro: *Erfolgspotential Instandhaltung: Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements*, Bd. 21: *Duisburger betriebswirtschaftliche Schriften*, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2000
- [Arnold 2006] ARNOLD, Dieter: *Intralogistik: Potentiale, Perspektiven, Prognosen*, 1. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006
- [Arnold u. a. 2008] ARNOLD, Dieter (Hrsg.); FURMANS, Kai (Hrsg.); ISERMANN, Heinz (Hrsg.); KUHN, Axel (Hrsg.); TEMPELMEIER, Horst (Hrsg.): *Handbuch Logistik*, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008
- [Balling 1998] BALLING, Richard: *Kooperation: Strategische Allianzen, Netzwerke, Joint Ventures und andere Organisationsformen zwischen betrieblicher Zusammenarbeit in Theorie und Praxis*, Bd. 2099: *Europäische Hochschulschriften: Reihe 5, Volks- und Betriebswirtschaft*, 2. Auflage, Lang Verlag, Frankfurt am Main, 1998
- [Becker u. a. 2007] BECKER, Thomas (Hrsg.); DAMMER, Ingo (Hrsg.); HOWALDT, Jürgen (Hrsg.); KILLICH, Stephan (Hrsg.); LOOSE, Achim (Hrsg.): *Netzwerkmanagement: Mit Kooperation zum Unternehmenserfolg*, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007
- [Becker u. Bloß 1996] BECKER, Wolfgang; BLOSS, Clemens: *Instandhaltungscontrolling*, in: SCHULTE, Christof (Hrsg.): *Lexikon des Controlling*, Oldenbourg Verlag, München, 1996
- [Becker u. a. 1999] BECKER, Wolfgang; KALAITZIS, Dimitrios; MÄNNEL, Wolfgang; MITTELVIEFHAUS, Clemens; SIEBIERA GUIDO: *Meinungsspiegel: Wahl zwischen Eigen- oder Fremdinstandhaltung*, in: MÄNNEL, Wolfgang (Hrsg.): *Kostenrechnungspraxis, Kostenrechnungs-Praxis: Sonderheft 1*, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999
- [Beckmann u. Marx 1994] BECKMANN, Gottfried; MARX, Dieter: *Instandhaltung von Anlagen: Konzepte, Strategien, Planung*, 4. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, Stuttgart, 1994
- [Ben-Daya 2009] BEN-DAYA, Mohamed: *Failure Statistics – Reliability and Failure Rate Functions*, in: BEN-DAYA, Mohamed (Hrsg.): *Handbook of maintenance management and engineering*, Springer Verlag, London, 2009
- [Benz u. Scheiffele 2001] BENZ, Axel; SCHEIFFELE, Henrik: *Modernes Service- und Instandhaltungsmanagement: Grundlagen, Praxis und Entwicklungspotenziale*, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 2001
- [Berge 2006] BERGE, Matthias: *Identifikationssysteme*, Vorlesungsskript, Fachgebiet Fabrikbetrieb,

- Fakultät für Maschinenbau, Technischen Universität Ilmenau, 2006
- [Bertsche u. a. 2009] BERTSCHE, Bernd; GÖHNER, Peter; JENSEN, Uwe; SCHINKÖTHER, Wolfgang; WUNDERLICH, Hans-Joachim: *Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme: Grundlagen und Bewertung in frühen Entwicklungsphasen*, VDI-Buch, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009
- [Bertsche u. Lechner 2004] BERTSCHE, Bernd; LECHNER, Gisbert: *Zuverlässigkeit im Fahrzeug- und Maschinenbau: Ermittlung von Bauteil- und System-Zuverlässigkeiten*, VDI-Buch, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2004
- [Bestmann u. Ebert 1997] BESTMANN, Uwe; EBERT, Günter: *Kompendium der Betriebswirtschaftslehre*, 9. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1997
- [Biedermann 1990] BIEDERMANN, Hubert: *Anlagenmanagement: Managementwerkzeuge zur Rationalisierung*, Schriftenreihe Erfolgspotentiale für Unternehmer und Führungskräfte, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1990
- [Biedermann 1992] BIEDERMANN, Hubert: *Kennzahlengestütztes Controlling*, in: WARNECKE, Hans J. (Hrsg.); BAUER, Carl-Otto (Hrsg.): *Handbuch Instandhaltung: Instandhaltungsmanagement*, Bd. 1, 2. Auflage, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1992
- [Biedermann 2008] BIEDERMANN, Hubert: *Ersatzteilmanagement: Effiziente Ersatzteillogistik für Industrieunternehmen*, VDI-Buch, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008
- [Biermaier 1990] BIERMAIER, W.: *Fremdinstandhaltung komplexer Fertigungsanlagen*, in: MÄNNEL, Wolfgang (Hrsg.): *Kongress Anlagenwirtschaft '90*, Schriften zur Betriebswirtschaftslehre Kongress- und Tagungsunterlagen, Verlag der Gesellschaft für Angewandte Betriebswirtschaft, Lauf an der Pegnitz, 1990
- [Binner 2005] BINNER, Hartmut F.: *Handbuch der prozessorientierten Arbeitsorganisation: Methoden und Werkzeuge zur Umsetzung*, REFA-Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung, 2. Auflage, Hanser Verlag, München, 2005
- [Bloß 1995] BLOSS, Clemens: *Organisation der Instandhaltung*, zugl.: Dissertation, Universität Bamberg, Gabler Edition Wissenschaft Unternehmensführung & Controlling, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1995
- [BMWI-Berlin 2007] OHNE VERFASSEN: *Der Mittelstand in der Bundesrepublik Deutschland: Eine volkswirtschaftliche Bestandsaufnahme*, Dokumentation Nr. 561, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWI (Hrsg.), Berlin, 2007
- [Bohl u. a. 1976] BOHL, Bernhard-Fridolin; NEUHAUS, Walter; SCHEID, Wolf-Michael: *Systemstudie als Grundlagenmodell optimierter Instandhaltungsplanung von automatischen Transport-, Lager- und Verteilsystemen in Krankenhausanlagen*, in: JÜNEMANN, Reinhardt (Hrsg.): *Forschungsberichte zur Industriellen Logistik*, Bd. 3, Dortmund, 1976
- [Böning 1997] BÖNING, Markus: *Einsatzmöglichkeiten eines lebenszyklusorientierten Controlling von Produktionsanlagen*, Bd. 133: *Hochschulschriften zur Betriebswirtschaftslehre*, VVF Verlag, München, 1997
- [Bossel 1994] BOSSEL, Hartmut: *Modellbildung und Simulation: Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme; ein Lehr- und Arbeitsbuch*, 2. Auflage, Vieweg Verlag, Braunschweig, 1994
- [Bronder 1993] BRONDER, Christoph: *Kooperationsmanagement: Unternehmensdynamik durch strategische Allianzen*, zugl.: Dissertation, Universität Stankt Gallen, Campus Verlag, Frankfurt am Main, 1993

- [Bruhn 2006] BRUHN, Manfred: *Das Konzept der kundenorientierten Unternehmensführung*, in: HINTERHUBER, Hans H. (Hrsg.); MATZLER, Kurt (Hrsg.): *Kundenorientierte Unternehmensführung*, 5. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2006
- [Bruns-Vietor 2004] BRUNS-VIETOR, Sabine: *Logistik, Organisation und Netzwerke: Eine radikal konstruktivistische Diskussion des Fließsystemansatzes*, zugl.: Dissertation, Universität Bremen, Bd. 9: *Strukturwandel und Strukturpolitik*, Lang Verlag, Frankfurt am Main, 2004
- [Bullinger u. a. 2003] BULLINGER, Hans-Jörg; WARNECKE, Hans-Jürgen; WESTKÄMPER, Engelbert: *Neue Organisationsformen im Unternehmen: Ein Handbuch für das moderne Management*, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2003
- [Bünning 2002] BÜNNING, Michael S.: *Entwicklung eines Instandhaltungsmanagementkonzeptes und betriebliche Pilotanwendungen*, Bd. 2002, 5: *Berichte aus dem Institut für Eisenhüttenkunde*, Shaker Verlag, Aachen, 2002
- [Coene 1992] COENE, Jan: *Die alten Zöpfe abschneiden: Fremdinstandhaltung im Brennpunkt neuer Unternehmensstrukturen*, Bd. 20: *Instandhaltung*, mit Verlag Moderne Industrie, Landsberg am Lech, 1992
- [Cook u. Russell 1985] COOK, Thomas M.; RUSSELL, Robert A.: *Introduction to management science*, 3, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1985
- [DESTATIS 2007] OHNE VERFASSER: *Arbeitskosten: Wo steht Deutschland in Europa?*, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden, 2007
- [Diesfeld 2004] DIESFELD, Jörg F.: *Strategieoptionen für den Ausbau strategischer Allianzen: Theoriegestützte Analyse alternativer Wachstumswege für kooperierende Unternehmen im Rahmen einer externen Unternehmensentwicklung; am Beispiel der europäischen Linienluftverkehrsgesellschaften*, zugl.: Dissertation, Universität Lüneburg, *Europäische Hochschulschriften: Reihe 5, Volks- und Betriebswirtschaft*, Lang Verlag, Frankfurt am Main, 2004
- [DIN 24420 1976] DIN 24420, Teil 1: *Ersatzteillisten*, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin, September 1976
- [DIN 25424 1981] DIN 25424, Teil 1: *Fehlerbaumanalyse - Methode und Bildzeichen*, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin, September 1981
- [DIN 31051 2003] DIN 31051: *Grundlagen der Instandhaltung*, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin, Juni 2003
- [DIN 40041 1990] DIN 40041: *Zuverlässigkeit – Begriffe*, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin, Dezember 1990
- [DIN EN 13306 2001] DIN EN 13306: *Begriffe der Instandhaltung*, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin, September 2001
- [DIN EN 60812 2006] DIN EN 60812: *Analysetechnik für die Funktionsfähigkeit von Systemen – Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)*, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin, Dezember 2006
- [Domschke u. Scholl 2006] DOMSCHKE, Wolfgang; SCHOLL, Armin: *Heuristische Verfahren: Arbeits- und Diskussionspapier*, *Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft*, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2006
- [Dörsam u. Icks 1997] DÖRSAM, Pia; ICKS, Annette: *Vom Einzelunternehmen zum regionalen Netzwerk: Eine Option für mittelständische Unternehmen*, Bd. 75: *Schriften zur Mittelstandsforschung*, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1997

- [Düttmann 1989] DÜTTMANN, Bernhard: *Forschungs- und Entwicklungskooperationen und ihre Auswirkungen auf den Wettbewerb*, zugl.: Dissertation, Universität Köln, Eul Verlag, Bergisch Gladbach, 1989
- [Erpenbeck 2009] ERPENBECK, John: *Kompetenzbasiertes E-Learning*, Institut für Bildungswissenschaft und Medienforschung, FernUniversität Hagen, 6. Forschungskolloquium: Kompetenzbasiertes E-Learning, Hagen, 08. Juli 2009
- [Frick 2006] FRICK, Walter: *Instandhaltung – ein entscheidender Faktor: Interview mit Harald Neuhaus, Vorsitzender des Forum Vision Instandhaltung e.V. (FVI)*, in: *MM Maschinenmarkt - Das Industriemagazin*, Vogel Verlag, Würzburg, 2006
- [Frings u. a. 2006] FRINGS, Stefan; HAFENSTEIN, Bernd; RIGALL, Juan; DROEGE & COMP. GMBH (Hrsg.): *Maintenance Excellence – Verdeckte Reserven aufdecken und nachhaltig umsetzen: Studie*, Online Dokument, URL: <http://www.droege-international.com/de/droege-comp/publikationen/archiv/publikation/archive/2007/02/article/instandhaltung-verdeckte-reserven/>, zuletzt geprüft am 05. Mai 2009
- [Fröhner u. a. 2004] FRÖHNER, Klaus-Dieter; REUTER, Matthias; ZABEL, Jürgen: *Geschäftsprozessmodellierung als Voraussetzung zur Installierung kooperativer Netzwerke*, Bd. 167: *Fortschritt-Berichte VDI-Reihe 16, Technik und Wirtschaft*, VDI Verlag, Düsseldorf, 2004
- [Fromme u. Schimmelpfeng 1997] FROMME, Christine; SCHIMMELPFENG, Katja: *Outsourcing von Instandhaltungsleistungen*, Bd. 13: *Industrie Management*, 5. Ausgabe, Gito Verlag, Berlin, 1997
- [Gericke 1992] GERICKE, Ekkehard: *Zuverlässigkeitstechnik als Grundlage für eine systematische Instandhaltung*, in: WARNECKE, Hans J. (Hrsg.); BAUER, Carl-Otto (Hrsg.): *Handbuch Instandhaltung: Instandhaltungsmanagement*, Bd. 1, 2. Auflage, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1992
- [Gienke u. Kämpf 2007] GIENKE, Helmuth (Hrsg.); KÄMPF, Rainer (Hrsg.): *Handbuch Produktion: Innovatives Produktionsmanagement Organisation, Konzepte, Controlling*, Hanser Verlag, München, 2007
- [Gonschorrek 2007] GONSCHORREK, Ulrich: *Planungs- und Entscheidungsprozesse*, Bd. 7, Berliner Wissenschafts-Verlag, Berlin, 2007
- [Gräber-Seißinger 2008] GRÄBER-SEISSINGER, Ute (Hrsg.): *Der Brockhaus – Wirtschaft: Betriebs- und Volkswirtschaft, Börse, Finanzen, Versicherungen und Steuern*, 2. Auflage, Brockhaus Verlag, Mannheim, 2008
- [Granthien 2002] GRANTHIEN, Marc: *Kooperatives Instandhaltungsengineering: Gestaltungsmöglichkeiten der Anlagenerhaltung*, Gabler Edition Wissenschaft, 1. Auflage, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2002
- [Häberle 2008] HÄBERLE, Siegfried G. (Hrsg.): *Das neue Lexikon der Betriebswirtschaftslehre: Kompendium und Nachschlagewerk*. Bd. A-E, F-M, Oldenbourg Verlag, München, 2008
- [Hackstein u. Sent 1992] HACKSTEIN, Rolf; SENT, Bernd: *Arbeitsvorbereitung in der Instandhaltung*, in: WARNECKE, Hans J. (Hrsg.); BAUER, Carl-Otto (Hrsg.): *Handbuch Instandhaltung: Instandhaltungsmanagement*, Bd. 1, 2. Auflage, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1992
- [Haderler u. a. 2000a] HADELER, Thorsten; ARENTZEN, Ute; WINTER, Eggert: *Gabler-Wirtschafts-Lexikon*, Bd. 2: *E - J*, 15. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2000
- [Haderler u. a. 2000b] HADELER, Thorsten; ARENTZEN, Ute; WINTER, Eggert: *Gabler-Wirtschafts-Lexikon*, Bd. 4: *S - Z*, 15. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2000
- [Hartmann 2007] HARTMANN, Edward H.: *TPM: Effiziente Instandhaltung und Maschinenman-*

- ment; Stillstandzeiten verringern, Maschinenleistungen steigern, Betriebszeiten erhöhen, 3. Auflage, mi Verlag Moderne Industrie, Landsberg am Lech, 2007
- [Heck 1992] HECK, Karlheinz: *Begriff, Wesen, Arten und Systematisierung der Instandhaltungskosten*, in: WARNECKE, Hans J. (Hrsg.); BAUER, Carl-Otto (Hrsg.): *Handbuch Instandhaltung: Instandhaltungsmanagement*, Bd. 1, 2. Auflage, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1992
- [Henkel 2011] HENKEL, Thomas: *Entwicklung eines Simulationsmodells für die Optimierung kooperativer Instandhaltung in Unternehmensnetzwerken (Arbeitstitel)*, Diplomarbeit – noch nicht abgeschlossen, Fakultät für Informatik und Automatisierung, Technische Universität Ilmenau, 2011
- [Hess 2002] HESS, Thomas: *Netzwerkcontrolling: Instrumente und ihre Werkzeugunterstützung*, zugl.: Habilitation, Universität Göttingen, Bd. 298: *Neue betriebswirtschaftliche Forschung*, 1. Auflage, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2002
- [Hoffmeister 2000] HOFFMEISTER, Wolfgang: *Investitionsrechnung und Nutzwertanalyse: Eine entscheidungsorientierte Darstellung mit vielen Beispielen und Übungen*, Bd. 5: *Globale Solidarität – Schritte zu einer neuen Weltkultur*, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2000
- [Hofmann 2000] HOFMANN, J.: *Risikobasierte Instandhaltung*, in: *Maintenance ideas*, Bd. 1554: *Gesellschaft Produktionstechnik: Forum Instandhaltung*, VDI-Berichte, VDI Verlag, Düsseldorf, Tagung: Von der technischen Diagnose zur betriebswirtschaftlichen Prognose, Aachen, 16.-17. Mai 2000
- [ten Hompel u. Heidenblut 2008] HOMPEL, Michael ten; HEIDENBLUT, Volker: *Taschenlexikon Logistik: Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik*, VDI-Buch, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008
- [Hrdliczka u. a. 1996] HRDLICZKA, Veronika; JAKOBI, Horst; SCHUMACHER, Rolf; WENZEL, Sigrid; ASIM-FACHGRUPPE 4.5.6. (Hrsg.): *Leitfaden für Simulationsbenutzer in Produktion und Logistik: ASIM – Mitteilung aus den Fachgruppen*, Zürich, 1996
- [IfM-Bonn 2007] OHNE VERFASSER: *Wirtschaftliche Bedeutung des Mittelstandes: Schlüsselzahlen zum Mittelstand in Deutschland*, in: BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE BMWI (Hrsg.): *Der Mittelstand in der Bundesrepublik Deutschland: Eine volkswirtschaftliche Bestandsaufnahme*, Dokumentation Nr. 561, Bonn, 2007
- [Jacobi 1992] JACOBI, Hans F.: *Begriffliche Abgrenzungen*, in: WARNECKE, Hans J. (Hrsg.); BAUER, Carl-Otto (Hrsg.): *Handbuch Instandhaltung: Instandhaltungsmanagement*, Bd. 1, 2. Auflage, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1992
- [Joppe 2005] JOPPE, Mark: *Instandhaltung von Flugzeugen der Lufthansa AG: Vortrag*, Deutsche Lufthansa AG, Lufthansa Aviation Center, Frankfurt am Main, Exkursion des Fachgebiets Fabrikbetrieb im Rahmen der Vorlesung Instandhaltung, 16. Mai 2005
- [Jünemann 1989] JÜNEMANN, Reinhardt: *Materialfluss und Logistik: Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1989
- [Jung 2011] JUNG, Frederic: *Bedeutung der unternehmensübergreifenden Instandhaltung bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)*, Bachelorarbeit, Fakultät für Maschinenbau, Technische Universität Ilmenau, 2011
- [Kaiser u. Kaiser 2000] KAISER, Stefan; KAISER, Wolfgang: *Chance Kooperation: Ein Leitfaden für kleine und mittlere Unternehmen*, LOG_X Verlag, Stuttgart, 2000
- [Kalaitzis 1990] KALAITZIS, Dimitrios: *Instandhaltungs-Controlling: Führungs- und Steuerungssystem erfolgreicher Instandhaltung*, Praxiswissen für das Technische Management, 2. Auflage, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1990

- [Kalaitzis 1999] KALAITZIS, Dimitrios: *Instandhaltungscontrolling als Instrument zur Ausschöpfung von Rationalisierungspotentialen*, in: MÄNNEL, Wolfgang (Hrsg.): *Kostenrechnungspraxis, Kostenrechnungs-Praxis: Sonderheft 1*, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1999
- [Kalaitzis 2004] KALAITZIS, Dimitrios: *Stellung und Grundlagen des Instandhaltungs-Controllings*, in: KALAITZIS, Dimitrios (Hrsg.): *Instandhaltungscontrolling*, 3. Auflage, TÜV-Verlag, Köln, 2004
- [Kaluza u. a. 1994] KALUZA, Bernd; RÖSNER, J.; MELLENTHIN, B.: *Just-in-Time-Instandhaltung: Entwurf eines modernen Instandhaltungsmanagement für Industrieunternehmen, Diskussionsbeiträge des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaft*, Fachbereich Wirtschaftswissenschaft, Universität Duisburg, Duisburg, 1994
- [Karis 2005] KARIS, Rolf-Otto: *Wartung bewahrt Werte: Interview mit Prof. Dr. h.c. Dipl.-Ing. Nikolaus Mexis, Institutsdirektor des IAS - Institut für Analytik und Schwachstellenforschung, Mannheim*, in: *VDI-Nachrichten, Technik Wirtschaft Gesellschaft*, Ausgabe 51/52, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2005
- [Kesting 2009] KESTING, Gregor: *Unternehmensübergreifende Funktions- und Leistungssicherung von technischen Einheiten bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)*, Diplomarbeit, Fakultät für Maschinenbau, Technische Universität Ilmenau, 2009
- [Killich 2007] KILLICH, Stephan: *Kooperationsformen*, in: BECKER, Thomas (Hrsg.); DAMMER, Ingo (Hrsg.); HOWALDT, Jürgen (Hrsg.); KILLICH, Stephan (Hrsg.); LOOSE, Achim (Hrsg.): *Netzwerkmanagement: Mit Kooperation zum Unternehmenserfolg*, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007
- [Killich u. Luczak 2003] KILLICH, Stephan; LUCZAK, Holger: *Unternehmenskooperation für kleine und mittelständische Unternehmen: Lösungen für die Praxis*, Springer Verlag, Berlin, 2003
- [Kippels 2006a] KIPPELS, Dietmar: *Instandhaltung nach Maß stärkt jedes Unternehmen: Interview mit Ing. Helmut Winkler, Geschäftsführer von Technik und Marketing München (TMM)*, in: *VDI-Nachrichten, Technik Wirtschaft Gesellschaft*, Ausgabe 50, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2006
- [Kippels 2006b] KIPPELS, Dietmar: *Wartung und Instandhaltung sind ein Wettbewerbsfaktor: Interview mit Christoph Zimmer, Berater bei I.C.M.E. Management Consultants*, in: *VDI-Nachrichten, Technik Wirtschaft Gesellschaft*, Ausgabe 17, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2006
- [Klanke 1995] KLANKE, Burkhard: *Kooperationen als Instrument der strategischen Unternehmensführung: Analyse und Gestaltung dargestellt am Beispiel von Kooperationen zwischen Wettbewerbern*, zugl.: Dissertation, Universität Münster (Westfalen), 1995
- [Kneip 2004] KNEIP, Hermann: *Aufbau und wirtschaftliche Auswahl anlagenbezogener Instandhaltungsstrategien*, in: KALAITZIS, Dimitrios (Hrsg.): *Instandhaltungscontrolling: Führungs- und Steuerungssystem erfolgreicher Instandhaltung*, TÜV-Verlag, Köln, 2004
- [Koether 1993] KOETHER, Reinhard: *Technische Logistik*, Hanser Verlag, München, Wien, 1993
- [Kraege 1997] KRAEGE, Rüdiger: *Controlling strategischer Unternehmungsk Kooperationen: Aufgaben, Instrumente und Gestaltungsempfehlungen*, zugl.: Dissertation, Universität Hannover, Bd. 9: *Schriften zum Management*, Hampp Verlag, München, Mering, 1997
- [Kraif 2006] KRAIF, Ursula (Hrsg.): *Duden – Das Fremdwörterbuch*, Bd. 5, 9. Auflage, Dudenverlag, Mannheim, 2006
- [Kramer u. a. 2002] KRAMER, Ulrich; EHLERS, Rudolf; NECULAU, Mihaele; SLIH, Shakoar: *Simulationstechnik*, in: HERING, Ekbert (Hrsg.): *Grundwissen des Ingenieurs*, 13. Auflage, Fachbuchverlag Leipzig im Hanser Verlag, München, Leipzig, 2002
- [Kramer u. Neculau 1998] KRAMER, Ulrich; NECULAU, Mihaela: *Simulationstechnik*, Hanser Verlag,

- München, 1998
- [Krampe u. Lucke 2006] KRAMPE, Horst; LUCKE, Hans-Joachim: *Grundlagen der Logistik: Theorie und Praxis logistischer Systeme*, 3. Auflage, Huss Verlag, München, 2006
- [Kuhn u. a. 2006] KUHN, Axel; SCHUH, Günter; STAHL, Beate: *Nachhaltige Instandhaltung: Trends, Potenziale und Handlungsfelder nachhaltiger Instandhaltung, Ergebnisbericht der vom BMBF geförderten Untersuchung: Nachhaltige Instandhaltung*, VDMA Verlag, Frankfurt am Main, 2006
- [Küll u. Stähly 1999] KÜLL, Roland; STÄHLY, Paul: *Zur Planung und effizienten Abwicklung von Simulationsexperimenten*, in: BIETHAHN, Jörg (Hrsg.); HUMMELTENBERG, Wilhelm (Hrsg.); SCHMIDT, Bernd (Hrsg.); STÄHLY, Paul (Hrsg.); WITTE, Thomas (Hrsg.): *Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe: State of the Art und neuere Entwicklungen*, Physica Verlag, Heidelberg, 1999
- [Kummer u. a. 2009] KUMMER, Sebastian; GRÜN, Oskar; JAMMERNEGG, Werner: *Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik, wi - wirtschaft*, Pearson Verlag, München, 2009
- [Küting u. Zink 1983] KÜTING, Karlheinz; ZINK, Klaus J.: *Unternehmerische Zusammenarbeit: Beiträge zu Grundsatzfragen bei Kooperation und Zusammenschluß*, Bd. 48: *Grundlagen und Praxis der Betriebswirtschaft*, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1983
- [Kutschker 1994] KUTSCHKER, Michael: *Strategische Kooperationen als Mittel der Internationalisierung*, in: SCHUSTER, Leo (Hrsg.): *Die Unternehmung im internationalen Wettbewerb*, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1994
- [Lauenstein u. a. 1993] LAUENSTEIN, Günter; RENGGER, Klaus; NOWOTNICK, Egon: *Instandhaltungsstrategien für Maschinen und Anlagen: Grundlagen und Verfahren für ihre Optimierung*, Linde Verlag, Berlin, Wien, 1993
- [Lindner 1993] LINDNER, V.: *Neue anforderungsgerechte Organisationsformen in der Instandhaltung*, in: MÄNNEL, Wolfgang (Hrsg.): *Fachtagung Instandhaltung*, Verlag der Gesellschaft für Angewandte Betriebswirtschaft, Lauf an der Pegnitz, 1993
- [Linn 1989] LINN, Norbert: *Die Implementierung vertikaler Kooperation: Theoretische Konzeption und erste empirische Ergebnisse zum Prozeß der Ausgliederung logistischer Teilaufgaben*, zugl.: Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, *Europäische Hochschulschriften: Reihe 5, Volks- und Betriebswirtschaft*, Lang Verlag, Frankfurt am Main, 1989
- [Linß 2005] LINSS, Gerhard: *Qualitätsmanagement für Ingenieure*, 2. Auflage, Fachbuchverlag Leipzig im Hanser Verlag, München, Wien, 2005
- [Maier 2011] MAIER, Martina: *Praxisgerechte AbnahmeprozEDUREN für intralogistische Systeme unter Berücksichtigung der Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeits-theorie*, zugl.: Dissertation, Technische Universität Ilmenau, 2011
- [Männel 1989] MÄNNEL, Wolfgang: *Bedeutsame Komponenten der Anlagenausfallkosten*, in: MÄNNEL, Wolfgang (Hrsg.); AMON, Markus (Hrsg.): *Perspektiven, Führungskonzepte und Instrumente der Anlagenwirtschaft, Schriftenreihe Anlagenwirtschaft*, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1989
- [Männel 1992] MÄNNEL, Wolfgang: *Anlagenausfallkosten*, in: WARNECKE, Hans J. (Hrsg.); BAUER, Carl-Otto (Hrsg.): *Handbuch Instandhaltung: Instandhaltungsmanagement*, Bd. 1, 2. Auflage, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1992
- [Matyas u. Brunner 2005] MATYAS, Kurt; BRUNNER, Franz J.: *Taschenbuch Instandhaltungslogistik: Qualität und Produktivität steigern, Praxisreihe Qualitätswissen*, 2. Auflage, Hanser Verlag, München, Wien, 2005
- [Mexis 1992] MEXIS, Nikolaus: *Allgemeine Schwachstellenanalyse (Ursachenanalyse) und deren Durch-*

- führung in den Betrieben*, in: WARNECKE, Hans J. (Hrsg.); BAUER, Carl-Otto (Hrsg.): *Handbuch Instandhaltung: Instandhaltungsmanagement*, Bd. 1, 2. Auflage, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1992
- [Meyna u. Pauli 2003] MEYNA, Arno; PAULI, Bernhard: *Taschenbuch der Zuverlässigkeits- und Sicherheitstechnik: Quantitative Bewertungsverfahren, Praxisreihe Qualitätswissen*, Hanser Verlag, München, 2003
- [Morschett 2005] MORSCHETT, Dirk: *Formen von Kooperationen, Allianzen und Netzwerken*, in: ZENTES, Joachim (Hrsg.); SWOBODA, Bernhard (Hrsg.); MORSCHETT, Dirk (Hrsg.): *Kooperationen, Allianzen und Netzwerke: Grundlagen – Ansätze – Perspektiven*, 2. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2005
- [Moubray 1995] MOUBRAY, John: *Reliability-centered maintenance*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1995
- [Nakajima 1995] NAKAJIMA, Seiichi: *Management der Produktionseinrichtungen: total productive maintenance*, Campus Verlag, Frankfurt am Main, New York, 1995
- [Ndouma 1997] NDOUMA, Jean René F.: *Grundtypen für die Instandhaltung in Produktionsbetriebsnetzen*, Wissenschaftliche Schriftenreihe des Instituts für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme, Chemnitz-Zwickau, 1997
- [Neb1 u. Prüß 2006] NEBL, Theodor; PRÜSS, Henning: *Anlagenwirtschaft, Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre*, Oldenbourg Verlag, München, 2006
- [Nieschlag u. a. 2002] NIESCHLAG, Robert; DICHTL, Erwin; HÖRSCHGEN, Hans: *Marketing*, 19. Auflage, Duncker & Humblot Verlag, Berlin, 2002
- [Ossadnik 2003] OSSADNIK, Wolfgang: *Controlling, Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre*, 3. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 2003
- [Pampel 1993] PAMPEL, Jochen: *Kooperation mit Zulieferern: Theorie und Management*, zugl.: Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, Bd. 120: *Neue betriebswirtschaftliche Forschung*, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1993
- [Payer 2008] PAYER, Harald: *Netzwerk, Kooperation, Organisation – Gemeinsamkeiten und Unterschiede*, in: BAUER-WOLF, Stefan (Hrsg.); PAYER, Harald (Hrsg.); SCHEER, Günter (Hrsg.): *Erfolgreich durch Netzwerkkompetenz: Handbuch für Regionalentwicklung*, Springer Verlag, Wien, 2008
- [Pfohl 2010] PFOHL, Hans-Christian: *Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen*, 8. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2010
- [Porter 2000] PORTER, Michael E.: *Wettbewerbsvorteile: Spitzenleistungen erreichen und behaupten*, 6. Auflage, Campus Verlag, Frankfurt am Main, 2000
- [Prasch 2010] PRASCH, Martin G.: *Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage*, zugl.: Dissertation, Technische Universität München, Bd. 243: *Forschungsberichte IWB*, Utz Verlag, München, 2010
- [Pride 2007] PRIDE, Alan: *Reliability-Centered Maintenance (RCM)*, Online Dokument, URL: <http://www.wbdg.org/design/rcm.php>, zuletzt geprüft am 22. August 2007
- [Rehkugler 1989] REHKUGLER, Heinz: *Erfolgsfaktoren der mittelständischen Unternehmen, Das Wirtschaftsstudium*, 11. Ausgabe, 1989
- [Rosner 2008] ROSNER, Ute (Hrsg.): *Der grosse Brockhaus in einem Band*, 3. Auflage, Brockhaus Verlag, Leipzig, Mannheim, 2008
- [Rötzel 2005] RÖTZEL, Adolf: *Instandhaltung: Eine betriebliche Herausforderung*, 3. Auflage, VDE

- Verlag, Berlin, Offenbach, 2005
- [Rupprecht-Däullary 1994] RUPPRECHT-DÄULLARY, Marita: *Zwischenbetriebliche Kooperation: Möglichkeiten und Grenzen durch neue Informations- und Kommunikationstechnologien*, zugl.: Dissertation, Technische Universität München, Gabler Edition Wissenschaft, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1994
- [Ryll u. Freund 2010] RYLL, Frank; FREUND, Curt: *Grundlagen der Instandhaltung*, in: SCHENK, Michael (Hrsg.): *Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010
- [Schäfer-Kunz 1995] SCHÄFER-KUNZ, Jan: *Strategische Allianzen im deutschen und europäischen Kartellrecht*, zugl.: Dissertation, Universität Stuttgart, Bd. 32: *Schriften zur Unternehmensplanung*, Lang Verlag, Frankfurt am Main, Wien, 1995
- [Scheid 1998] SCHEID, Wolf-Michael: *Technisches Management/Entwurfslehre Fabrikbetrieb*, Vorlesungsskript, Fachgebiet Fabrikbetrieb, Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau, 1998
- [Scheid 2006] SCHEID, Wolf-Michael: *RAM – Reliability, Availability, Maintenance – Gedanken zu einer europäisch-nordamerikanischen Initiative: Vortrag*, Institut für rechnerunterstützte Produktion der Technischen Universität Ilmenau, 14. CIM-Jahrestagung, Ilmenau, 30. März 2006
- [Schenk u. Wirth 2004] SCHENK, Michael; WIRTH, Siegfried: *Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2004
- [Schimmelpfeng u. Steffen 2000] SCHIMMELPFENG, Katja; STEFFEN, Reiner: *Instandhaltungsmanagement*, in: SCHNEIDER, Herfried (Hrsg.): *Produktionsmanagement in kleinen und mittleren Unternehmen*, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2000
- [Schlick 2001] SCHLICK, Gerhard H.: *Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Maschinen, Geräten und Anlagen mit Ventilen: Fallsammlung Lösungsvarianten Praxisbeispiele*, expert Verlag, Renningen-Malmsheim, 2001
- [Schöne 2003] SCHÖNE, Roland: *Kooperationen von kleinen und mittleren Unternehmen: Ein Leitfaden – erstellt im Rahmen des Projektes: Projektträgerschaft für das Sächsische Unternehmensprogramm innerhalb des Programms zur Förderung betrieblicher Personal- und Organisationsentwicklung in den neuen Bundesländern*, 3. Auflage, Mittelstandszentrum Professur Erwachsenenbildung und Betriebliche Weiterbildung, Technische Universität Chemnitz, 2003
- [Schramm-Klein 2005] SCHRAMM-KLEIN, Hanna: *Wettbewerb und Kooperation in regionalen Branchenclustern*, in: ZENTES, Joachim (Hrsg.); SWOBODA, Bernhard (Hrsg.); MORSCHEIT, Dirk (Hrsg.): *Kooperationen, Allianzen und Netzwerke: Grundlagen – Ansätze – Perspektiven*, 2. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2005
- [Schuh u. a. 2005] SCHUH, Günther; KAMPKER, Achim; FRANZKOCH, Bastian; WEMHÖNER, Nils; IFM ELECTRONIC GMBH (Hrsg.): *Studie: Intelligent Maintenance: Potenziale zustandsorientierter Instandhaltung*, Online Dokument, URL: http://www.ifm.com/ifmde/news/news_6AXJKK.htm, zuletzt geprüft am 04. Mai 2009
- [Schulte 1999] SCHULTE, Christof: *Lexikon der Logistik*, Oldenbourg Verlag, München, 1999
- [Schulte-Zurhausen 2005] SCHULTE-ZURHAUSEN, Manfred: *Organisation*, 4. Auflage, Verlag Vahlen, München, 2005
- [Seibert 1998] SEIBERT, Siegfried (Hrsg.): *Technisches Management: Innovationsmanagement, Projektmanagement, Qualitätsmanagement*, Teubner Verlag, Stuttgart, 1998

- [Shanthikumar u. Rachamadugu 1991] SHANTHIKUMAR, George; RACHAMADUGU, Ram: *Layout considerations in assembly line design*, *International Journal of Production Research*, 4. Ausgabe, 1991
- [Sihn u. Specht 1996] SIHN, Wilfried; SPECHT, Dieter: *Instandhaltung von Produktionssystemen*, in: EVERSHEIM, Walter (Hrsg.); SCHUH, Günther (Hrsg.): *Produktion und Management*, Bd. 1 u. 2, 7. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1996
- [Slaby u. Krasselt 1998] SLABY, Dieter; KRASSELT, René: *Industriebetriebslehre: Investitionen*, Oldenbourg Verlag, München, 1998
- [Spekman u. Isabella 2000] SPEKMAN, Robert; ISABELLA, Lynn: *Alliance competence: Maximizing the value of your partnerships*, Wiley & Sons, New York, 2000
- [Stender 1999] STENDER, Siegfried: *Von TPM bis zur DAPV*, in: WESTKÄMPER, Engelbert (Hrsg.); SIHN, Wilfried (Hrsg.); STENDER, Siegfried (Hrsg.): *Instandhaltungsmanagement in neuen Organisationsformen*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1999
- [Stender 2007] STENDER, Siegfried: *Instandhaltung der Produktionsanlagen: Kennzahlen, Controlling und Benchmarking in der Instandhaltung*, in: GIENKE, Helmuth (Hrsg.); KÄMPF, Rainer (Hrsg.): *Handbuch Produktion: Innovatives Produktionsmanagement – Organisation, Konzepte, Controlling*, Hanser Verlag, München, 2007
- [Stoneham 1998] STONEHAM, Derek: *The maintenance management and technology handbook*, 1. ed, Elsevier Science, Oxford, 1998
- [Sydow 2005] SYDOW, Jörg: *Strategische Netzwerke: Evolution und Organisation*, zugl.: Habilitation, Freie Universität Berlin, Bd. 100: *Neue betriebswirtschaftliche Forschung*, 1. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2005
- [VDI 2888 1999] VDI 2888: *Zustandsorientierte Instandhaltung*, *VDI-Handbuch Betriebstechnik*, Teil 4, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Beuth Verlag, Berlin, Dezember 1999
- [VDI 2895 1996] VDI 2895: *Organisation der Instandhaltung, Instandhalten als Unternehmensaufgabe*, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Beuth Verlag, Berlin, Dezember 1996
- [VDI 2899 1996] VDI 2899: *Entscheidungsfindung für Eigenleistung oder Fremdvergabe von Instandhaltungsleistungen*, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Beuth Verlag, Berlin, Dezember 1996
- [VDI 3633 2010] VDI 3633, Blatt 1: *Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen – Grundlagen: VDI-Richtlinien ; VDI 36331*, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Beuth Verlag, Berlin, Dezember 2010
- [VDI 3633 1996] VDI 3633: *Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen – Begriffsdefinitionen*, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Beuth Verlag, Berlin, November 1996
- [VDI 4001 2006] VDI 4001, Blatt 2: *Terminologie der Zuverlässigkeit. VDI-Handbuch Technische Zuverlässigkeit*, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Beuth Verlag, Berlin, Juli 2006
- [VDI 4004 1986] VDI 4004, Blatt 3: *Kenngrößen der Instandhaltbarkeit. VDI-Handbuch Technische Zuverlässigkeit*, Verein Deutscher Ingenieure e.V., Beuth Verlag, Berlin, September 1986
- [Vorne Industries 2011] VORNE INDUSTRIES, Inc: *World Class OEE*, Online Dokument, URL: http://www.oee.com/world_class_oee.html, zuletzt geprüft am 24. Februar 2011
- [Warnecke u. Bauer 1992] WARNECKE, Hans J. (Hrsg.); BAUER, Carl-Otto (Hrsg.): *Handbuch Instandhaltung: Instandhaltungsmanagement*, Bd. 1, 2. Auflage, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1992
- [Wegmann 2006] WEGMANN, Jürgen: *Betriebswirtschaftslehre mittelständischer Unternehmen*, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 2006

- [Weißenbach 2007a] WEISSENBACH, Andreas: *Ein Instandhaltungsnetzwerk für Logistiksysteme: Innovativer Ansatz: Dienstleistung unter Partnern, Modernisierungsfibel 2007*, Huss Verlag, München, Berlin, 2007
- [Weißenbach 2007b] WEISSENBACH, Andreas: *Studie: Instandhaltung bei KMU - aktuelle Situation bei kleinen und mittleren Unternehmen: Vortrag, Institut für rechnerunterstützte Produktion der Technischen Universität Ilmenau, Instandhaltung bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), Workshop, 1. Sequenz, Ilmenau, 26. Juli 2007*
- [Weißenbach 2008] WEISSENBACH, Andreas: *Agieren statt Reagieren – Instandhaltungsnetzwerk für Logistikanlagen und -systeme bei KMU: Themengruppe 6 – Management/Organisation/Planung: Vortrag, Wissenschaftlichen Gesellschaft Technische Logistik (WGTL) e. V., 4. Fachkolloquium, Chemnitz, 10. Oktober 2008*
- [Weißenbach 2009] WEISSENBACH, Andreas: *Die Zukunft der Instandhaltung bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) – Wie könnte das aussehen? Workshop 2: Instandhaltungsmanagement bei KMU: Vortrag, Institut für rechnerunterstützte Produktion der Technischen Universität Ilmenau, 17. CIM-Jahrestagung, Ilmenau, 26. März 2009*
- [Wenzel u. a. 2008] WENZEL, Sigrid; COLLISI-BÖHMER, Simone; PITSCH, Holger; ROSE, Oliver; WEISS, Matthias: *Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik: Planung und Durchführung von Simulationsstudien, VDI-Buch, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008*
- [Westkämper 2007] WESTKÄMPER, Engelbert: *ManuFuture Germany Konferenz: Die Strategische Forschungsagenda Deutschland – Ergebnis des Roadmapping Prozess MANUFUTURE D., Haus der Deutschen Wirtschaft, Informationen zum aktuellen Stand und Themenabgleich, Berlin, 12. September 2007*
- [Wicheringer 1992] WICHERINGER, Walter: *Eingliederung des Instandhaltungsbereiches in das Unternehmen*, in: WARNECKE, Hans J. (Hrsg.); BAUER, Carl-Otto (Hrsg.): *Handbuch Instandhaltung: Instandhaltungsmanagement*, Bd. 1, 2. Auflage, Verlag TÜV-Rheinland, Köln, 1992
- [Wiendahl 2005] WIENDAHL, Hans-Peter: *Betriebsorganisation für Ingenieure*, 5. Auflage, Hanser Verlag, München, Wien, 2005
- [Wigand u. a. 2004] WIGAND, Rolf; PICOT, Arnold; REICHWALD, Ralf: *Information, organization and management: Expanding markets and corporate boundaries, John Wiley information systems series*, Wiley, Chichester, 2004
- [Wildner 2010] WILDNER, Christian: *Simulation in Produktion und Logistik*, Vorlesungsskript, Fachgebiet Fabrikbetrieb, Fakultät für Maschinenbau, Technischen Universität Ilmenau, 2010
- [Wirth u. Baumann 2001] WIRTH, Siegfried; BAUMANN, André: *Wertschöpfung durch vernetzte Kompetenz: Schlanke Kompetenzkooperation: Überlebensstrategie für kleine Produktions- und Dienstleistungsunternehmen*, Bd. 1: Produktion: *Praxisreihe Logistik*, Huss Verlag, München, 2001
- [Wöhe u. Döring 2008] WÖHE, Günter; DÖRING, Ulrich: *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften*, 23. Auflage, Verlag Vahlen, München, 2008
- [Wojda u. a. 2006] WOJDA, Franz; HERFORT, Inge; BARTH, Alfred: *Kooperationen und Kooperationsnetzwerke: Grundlagen*, in: WOJDA, Franz (Hrsg.); BARTH, Alfred (Hrsg.): *Innovative Kooperationsnetzwerke*, Bd. 16: *Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB)*, 1. Auflage, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2006
- [Wolter u. a. 1998] WOLTER, Hans-Jürgen; WOLFF, Karin; FREUND, Werner: *Das virtuelle Unternehmen: Eine Organisationsform für den Mittelstand*, Bd. 80: *Gabler Edition Wissenschaft*, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1998

- [Wöltje 2010] WÖLTJE, Jörg: *Betriebswirtschaftliche Formeln*, 4. Auflage, Haufe Verlag, Planegg/München, 2010
- [Zangemeister 1971] ZANGEMEISTER, Christof: *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen*, 2. Auflage, Wittemann Verlag, München, 1971
- [Zentes u. a. 2004] ZENTES, Joachim; SWOBODA, Bernhard; MORSCHETT, Dirk: *Internationales Wertschöpfungsmanagement, Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften*, Vahlen, München, 2004
- [Zhang 1990] ZHANG, Suixin: *Instandhaltung und Anlagenkosten*, DUV Wirtschaftswissenschaft, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1990

Anhang

A Methoden und Beispiele der Instandhaltung

A.1 Zuverlässigkeitsanalyse

A.1.1 Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)

Die **Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)** ist ein systematisches Vorgehen zur Ermittlung möglicher Fehlzustandsarten, ihrer Ursachen und ihrer Auswirkungen auf das eigene Verhalten [vgl. DIN EN 60812, 2006, S. 6]. Mit einer Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) kann aufgezeigt werden, auf welche Art und Weise eventuell eine technische Einheit ausfallen wird, welches die kritischen Komponenten und deren Ausfallarten sind und welche Gründe für das Auftreten der jeweiligen Ausfallart vorliegen [vgl. DIN EN 60812, 2006, S. 8].

Die Anlässe für den Einsatz einer Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) kann sehr vielfältig sein, wobei folgende Gründe von besonderer Bedeutung sind [nach DIN EN 60812, 2006, S. 8]:

- Erkennen von Ausfällen, die unerwünschte Auswirkungen auf den Betrieb haben, beispielsweise eine signifikante Verschlechterung der Funktion oder Beeinträchtigung der Sicherheit des Bedien- bzw. Instandhaltungspersonals.
- Erfüllen von vertraglichen Bedingungen.
- Verbesserung der Funktionsfähigkeit oder Sicherheit, beispielsweise durch Entwurfsveränderungen oder Qualitätssicherungsmaßnahmen.
- Verbesserung der Instandhaltbarkeit, beispielsweise durch Aufzeigen von risikoreicheren Bereichen oder Bereichen, in denen eine Instandhaltbarkeit nicht gegeben ist.

Bei der Durchführung einer Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) lautet das Ziel, durch das Erkennen der Ursachen von Fehlern, die Einführung von nachweislich wirksamen Maßnahmen sowie die Vermeidung von Wiederholungsfehlern unter Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen eine insgesamt möglichst konsequente und dauerhafte Beseitigung von Fehlern zu erreichen [vgl. Linß, 2005, S. 401].

Im Einzelnen können mit einer *Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)* folgende Ziele verfolgt werden [nach DIN EN 60812, 2006, S. 8]:

- Erkennen und Beurteilen von unerwünschten Auswirkungen der analysierten technischen Einheit innerhalb der festgelegten Grenzen sowie der Ereignisfolgen, welche durch die erkannten Ausfallarten auf verschiedenen Ebenen der Funktionshierarchie ausgelöst wurden – unabhängig von der Ursache.
- Feststellen der Bedeutung und Dringlichkeit für das Aufgreifen jeder Ausfallart bezüglich der korrekten Funktion oder Leistung der betrachteten Einheit und der Wirkung auf den betroffenen Prozess.

- Klassifizierung der analysierten Ausfallarten entsprechend der relevanten Eigenschaften; dies beinhaltet die Erkennbarkeit, Diagnosefähigkeit, Prüfbarkeit, Vorkehrungen für den Einsatz und den Betrieb.
- Identifizierung von Funktionsausfällen der technischen Einheit und Abschätzung von Maßgrößen für die Ausfallwahrscheinlichkeit und Ausfallschwere.
- Entwicklung eines Verbesserungsplans zur Verringerung der Ausfallarten.
- Entwicklung eines effizienten Instandhaltungsplans zur Verringerung der Ausfallwahrscheinlichkeit.

In Abbildung A.1 ist ein Ablauf der Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) dargestellt.

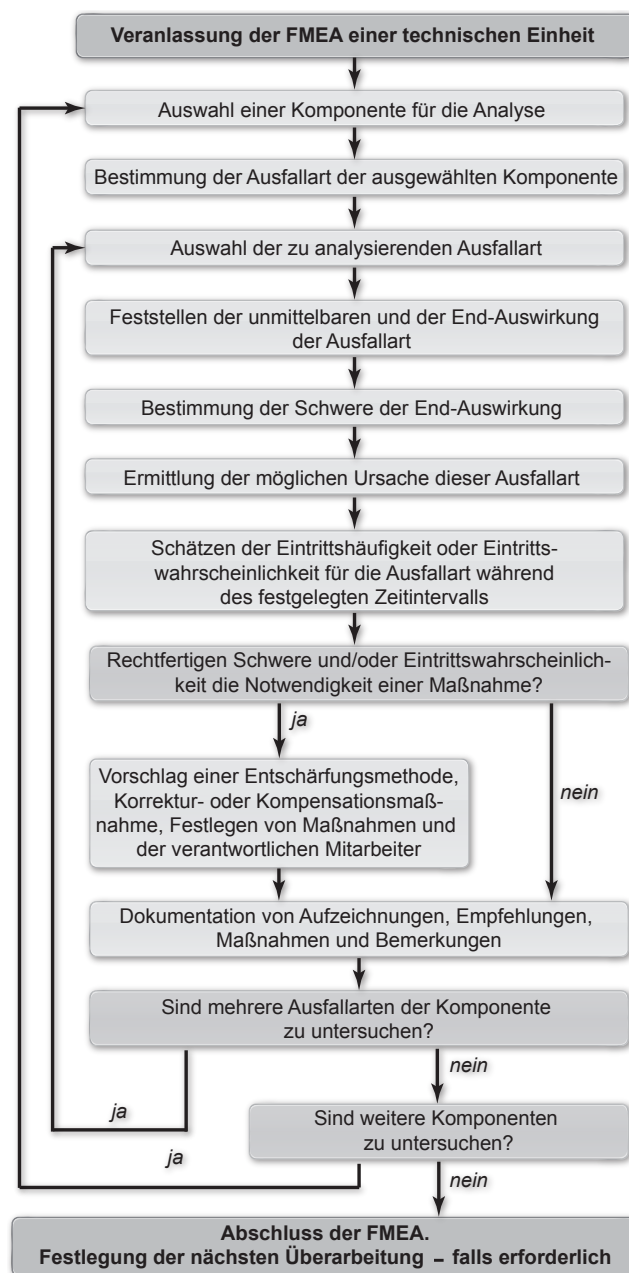


Abbildung A.1: Ablaufdiagramm der Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)

A.1.2 Fehlerbaumanalyse (FTA)

Die **Fehlerbaumanalyse**¹ (FTA) ermöglicht die Analyse der Sicherheit und Zuverlässigkeit von technischen Einheiten aller Art und eignet sich durch die übersichtliche Darstellungsweise der einzelnen Abhängigkeiten besonders gut für die Untersuchung von sehr komplexen technischen Einheiten [vgl. Meyna u. Pauli, 2003, S. 351].

Im Einzelnen können mit der Fehlerbaumanalyse (FTA) folgende Ziele verfolgt werden [vgl. DIN 25424, 1981, S. 2]:

- Systematische Identifizierung aller möglichen Ausfallkombinationen (Ursachen), die zu einem vorgegebenen unerwünschten Ereignis führen.
- Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen, beispielsweise Eintrittshäufigkeiten der Ausfallkombinationen, Eintrittshäufigkeit des unerwünschten Ereignisses oder Nichtverfügbarkeit einer technischen Einheit bei Anforderung.

Die Fehlerbaumanalyse (FTA) ermöglicht es, eine betrachtete technische Einheit in einem Modell abzubilden und es qualitativ und quantitativ auf dessen Ausfallverhalten hin zu untersuchen. Im Ergebnis erhält man eine klare und eindeutig nachvollziehbare Dokumentation der Untersuchung zur Bestimmung möglicher Ausfallkombinationen [vgl. DIN 25424, 1981, S. 2-3].

Um eine technische Einheit in ein möglichst wirklichkeitsgetreues Modell zu überführen und es anschließend auswerten zu können, sind folgende Schritte notwendig [vgl. DIN 25424, 1981, S. 4]:

1. **Schritt:** Untersuchung des Systems durch eine Systemanalyse.
2. **Schritt:** Festlegung der unerwünschten Ereignisse und der Ausfallkriterien.
3. **Schritt:** Festlegung der relevanten Zuverlässigkeitskenngrößen und der zu betrachtenden Zeitintervalle.
4. **Schritt:** Überlegungen zu den Ausfallarten der einzelnen Komponenten.
5. **Schritt:** Aufstellung eines Fehlerbaums.
6. **Schritt:** Zusammenstellung der Kenngrößen der Eingänge in den Fehlerbaum (beispielsweise Ausfallraten, Ausfallzeiten, Nichtverfügbarkeiten).
7. **Schritt:** Auswertung des Fehlerbaums.
8. **Schritt:** Bewertung der Ergebnisse.

In Abbildung A.2 ist die Aufstellung eines Fehlerbaums mit Hilfe von Standardbildzeichen dargestellt.

¹ Fehlerbaumanalyse – Der Fehlerbaum ist eine graphische Darstellung der logischen Zusammenhänge zwischen den Fehlerbaumeingängen, die zu einem vorgegebenen unerwünschten Ergebnis führen [vgl. DIN 25424, 1981, S. 2].

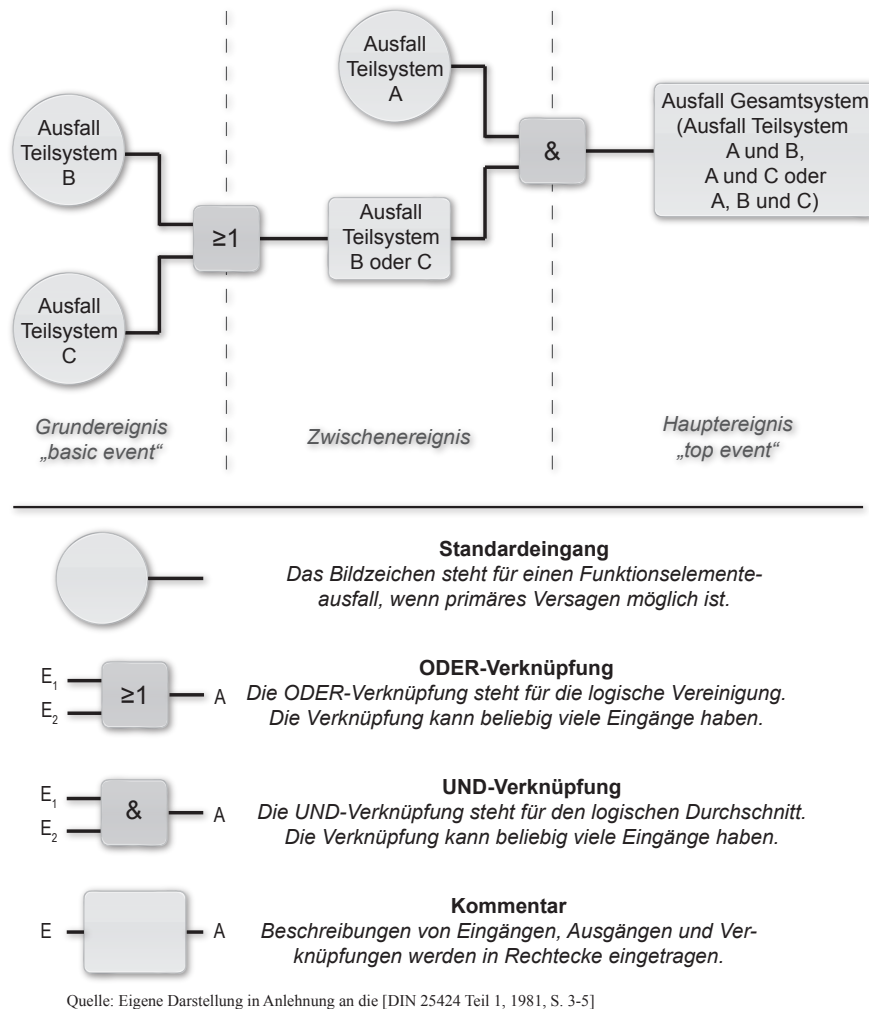


Abbildung A.2: Beispiel zum Aufbau eines Fehlerbaums

A.2 Berechnungsbeispiele

A.2.1 Zuverlässigkeit mit und ohne Redundanz

Zur Verdeutlichung des Einflusses von redundanten Einheiten auf die Zuverlässigkeit von technischen Systemen wird ein einfaches System mit fünf Einheiten zugrunde gelegt.

In Tabelle A.1 sind verschiedene Zuverlässigkeitswerte der einzelnen Einheiten gegeben.

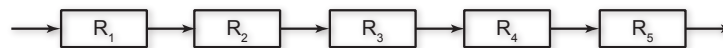
Tabelle A.1: Zuverlässigkeitswerte der Einheiten

Einheit i	Zuverlässigkeit [%]
1	0,90
2	0,88
3	0,81
4	0,92
5	0,94

Quelle: Eigene Darstellung

Beispiel 1:

In Abbildung A.3 ist ein *in Reihe geschaltetes System* mit fünf Einheiten unterschiedlichen Typs *ohne Redundanz* dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung

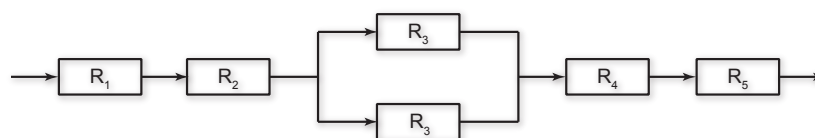
Abbildung A.3: System ohne Redundanz

Die Zuverlässigkeit dieses Systems errechnet sich durch Gleichung (2.12):

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Reihe}} &= R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_n \\
 R_{\text{ohneRedundanz}} &= 0,90 \cdot 0,88 \cdot 0,81 \cdot 0,92 \cdot 0,94 \\
 R_{\text{ohneRedundanz}} &= 0,5548 = \mathbf{55,48\%}
 \end{aligned}$$

Beispiel 2:

In Abbildung A.4 ist ebenso ein *in Reihe geschaltetes System* mit fünf Einheiten dargestellt, allerdings ist die Einheit mit der geringsten Zuverlässigkeit innerhalb des Systems mit einer *parallel geschalteten Redundanz* gleichen Typs ausgestattet.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung A.4: System mit Redundanz

Die Zuverlässigkeit dieses Systems errechnet sich durch Gleichung (2.13):

$$\begin{aligned}
 R_{Parallel} &= R_1 \cdot R_2 \cdot [1 - (1 - R_3) \cdot (1 - R_3)] \cdot R_4 \cdot R_5 \\
 R_{mitRedundanz} &= 0,90 \cdot 0,88 \cdot [1 - (1 - 0,81) \cdot (1 - 0,81)] \cdot 0,92 \cdot 0,94 \\
 R_{mitRedundanz} &= 0,90 \cdot 0,88 \cdot 0,9639 \cdot 0,92 \cdot 0,94 \\
 R_{mitRedundanz} &= 0,6602 = \mathbf{66,02\%}
 \end{aligned}$$

Im Ergebnis zeigt sich, dass das *in Reihe geschaltete System* mit fünf Einheiten *ohne Redundanz* eine Zuverlässigkeit von 55,48 % liefert. Das ebenso *in Reihe geschaltete System* mit fünf Einheiten des zweiten Beispiels, welches eine zusätzlich *parallel geschaltete Redundanz* der dritten Einheit hat, weist hingegen eine Zuverlässigkeit von 66,02 % auf.

Im Vergleich der beiden Beispiele wird deutlich, dass ein mit einer Redundanz versehenes System eine um zirka 10,5 % höhere Zuverlässigkeit besitzt. Es ist somit erkennbar, weshalb redundante Einheiten immer dann zum Einsatz kommen, wenn es aufgrund einer Störung einer technischen Einheit möglicherweise zu folgenschweren Zwischenfällen mit entsprechenden Auswirkungen auf Mensch und Umwelt kommen könnte. Auch dann, wenn die Ausfall- und Ausfallfolgekosten eines kompletten Systems die Kosten einer zusätzlichen (redundanten) Einheit übersteigen würden.

A.2.2 Verfügbarkeit bzw. Nichtverfügbarkeit

Zur Verdeutlichung der Verfügbarkeit von technischen Systemen werden die MTBF, MTTR, die Verfügbarkeit und die Nichtverfügbarkeit berechnet.

In Tabelle A.2 sind verschiedene Kenndaten einer technischen Einheit gegeben.

Tabelle A.2: Kenndaten zur Ermittlung der Verfügbarkeit bzw. der Unverfügbarkeit

	TBF [h]	TTR [h]
	111,00	30,00
	423,00	60,00
	321,00	20,00
	156,00	40,00
	73,00	40,00
	185,00	70,00
	453,00	50,00
	73,00	30,50
	113,00	10,00
	123,00	20,50
Summe:	2.030,00	380,00
Mittelwert:	203,00	38,00
Anzahl der Ereignisse:	10	10

Quelle: Eigene Darstellung

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{\text{Anzahl der Ereignisse}} = \frac{2030,00 \text{ h}}{10} = 203,00 \text{ h}$$

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{\text{Anzahl der Ereignisse}} = \frac{380,00 \text{ h}}{10} = 38,00 \text{ h}$$

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \cdot 100 \% = \frac{203,00 \text{ h}}{203,00 \text{ h} + 38,00 \text{ h}} \cdot 100 \% = \mathbf{84,23 \%}$$

$$U = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR} \cdot 100 \% = \frac{38,00 \text{ h}}{203,00 \text{ h} + 38,00 \text{ h}} \cdot 100 \% = \mathbf{15,77 \%}$$

A.2.3 Gesamtanlageneffektivität

Zur Verdeutlichung der Gesamtanlageneffektivität einer technischen Einheit sind verschiedene Kenn-
daten in Tabelle A.3 gegeben, mit welchen die einzelnen Werte für die Verfügbarkeit, den Leistungs-
grad sowie die Qualitätsrate und schließlich für die Gesamtanlageneffektivität berechnet werden.

Tabelle A.3: Daten zur Berechnung der Gesamtanlageneffektivität

Argumente	Werte [Einheit]
Verfügbare Einsatzzeit	480 min/Tag
Geplante Stillstandszeit (Ausfallzeit)	20 min/Tag
Nicht geplante Stillstandszeit (Ausfallzeit)	30 min/Tag
SOLL-Taktzeit	0,6 min/Stk.
IST-Taktzeit	0,8 min/Stk.
Anzahl aller bearbeiteten Aufträge (A_{alle})	400 Stk.
Anzahl der Aufträge mit negativem Ergebnis ($A_{negativ}$)	27 Stk.

Quelle: Eigene Darstellung

Verfügbarkeit:

$$\text{Anlagenhauptzeit} = 480 \text{ min} - 20 \text{ min} = 460 \text{ min}$$

$$\text{Anlagenbetriebszeit} = 460 \text{ min} - 30 \text{ min} = 430 \text{ min}$$

$$V = \frac{\text{Anlagenbetriebszeit}}{\text{Anlagenbetriebszeit} + \text{Ausfallzeit}} = \frac{430 \text{ min}}{430 \text{ min} + 50 \text{ min}} = \mathbf{0,896}$$

Leistungsgrad:

$$\text{Anlagen-Geschwindigkeitsverhältnis} = \frac{0,6 \text{ min}}{0,8 \text{ min}} = 0,75$$

$$\text{Anlagenbetriebsrate} = \frac{430 \text{ min}}{400 \text{ Stk.} \cdot 0,8 \text{ min/Stk.}} = 0,86$$

$$L = \text{Anlagen-Geschwindigkeitsverhältnis} \cdot \text{Anlagenbetriebsrate} = 0,75 \cdot 0,86 = \mathbf{0,645}$$

Qualitätsrate:

$$A_{\text{positiv}} = A_{\text{alle}} - A_{\text{negativ}} = 400 \text{ Stk.} - 27 \text{ Stk.} = 373 \text{ Stk.}$$

$$Q = \frac{A_{\text{positiv}}}{A_{\text{alle}}} = \frac{373 \text{ Stk.}}{400 \text{ Stk.}} = \mathbf{0,9325}$$

Gesamtanlageneffektivität:

$$OEE = V \cdot L \cdot Q \cdot 100 \% = 0,896 \cdot 0,645 \cdot 0,9325 \cdot 100 \% = \mathbf{53,89 \%}$$

Die verwendeten Daten² in diesem Beispiel sind für viele Unternehmen sehr typisch. Anhand des Ergebnisses lässt sich der Zusammenhang zwischen den Verlustfaktoren und den Zielen der ganzheitlich integrierten Instandhaltung sowie der Gesamtanlageneffektivität einfach ableiten. Weist eine technische Einheit zwar eine Verfügbarkeit von nahezu 90 % auf, kann die Gesamtanlageneffektivität dennoch nur zirka 54 % betragen.

² Daten – Die verwendeten Daten beziehen sich auf mehrere Unternehmen der spanenden Fertigung aus der Automobilindustrie in Deutschland [nach Al-Radhi u. Heuer, 1995, S. 34].

B Methoden und Daten der Erfolgseinschätzung

B.1 Nutzwertanalyse

Die **Nutzwertanalyse** ist ein formalisiertes Bewertungsverfahren, mit dem der Nutzen unterschiedlicher Lösungen nach verschiedenartigen Kriterien entsprechend eines mehrdimensionalen Werte- und Zielsystems beurteilt und verglichen werden kann [vgl. Zangemeister, 1971, S. 45]. Das Verfahren wird den analytischen Bewertungsverfahren zugerechnet, da im Ergebnis ein Gesamtnutzenwert je Lösung über ein mehrstufiges hierarchisches Modell mit Zielbereichen und operationalisierbaren Einzelkriterien ermittelt wird, der den Grad der Zielerfüllung darstellt und aus mehreren unterschiedlichen Teilnutzenwerten zusammengesetzt wird [vgl. Hoffmeister, 2000, S. 277], [vgl. Ossadnik, 2003, S. 323]. Mit Hilfe der Nutzwertanalyse gelingt es, unterschiedliche Lösungen hinsichtlich eines Sachverhalts nicht nur aufgrund sachlicher Objektinformationen zu bestimmen, sondern dabei auch nicht monetäre und subjektive Kriterien in die Entscheidungsfindung einzubeziehen [vgl. Seibert, 1998, S. 68-70].

Die Nutzwertanalyse erfolgt in fünf Schritten, die im Folgenden kurz erläutert werden [vgl. Scheid, 1998, S. 26-28], [nach Wöltje, 2010, S. 111-112]:

1. Schritt: *Festlegung und Strukturierung eines Kriterienkataloges*

Zur Bewertung von Lösungen hinsichtlich eines Sachverhalts wird ein Werte- und Zielsystem nach sachlichen Gesichtspunkten definiert, welches die Grundlage für die Nutzwertanalyse darstellt. Dabei entsteht ein strukturierter Kriterienkatalog aus verschiedenen Zielbereichen und spezifischen Einzelkriterien.

2. Schritt: *Gewichtung der Zielbereiche und Einzelkriterien*

Mit der Gewichtung aller Zielbereiche und Einzelkriterien nach den relevanten Schwerpunkten wird eine Rangfolge der verschiedenen Zielbereiche und spezifischen Einzelkriterien innerhalb des Werte- und Zielsystems festgelegt.

3. Schritt: *Bewertung der Güte der Lösungen*

Durch die Vergabe von Punkten wird die Güte jeder Lösung bestimmt und damit der Erfüllungsgrad der Zielerreichung ermittelt. Dabei wird jede Lösung mit den Einzelkriterien des Werte- und Zielsystems separat bewertet.

4. Schritt: *Ermittlung der Teilnutzenwerte je Lösung*

Mit Hilfe der Gewichtungspunkte der Einzelkriterien und der Bewertungspunkte der jeweiligen Güte der Lösungen werden die Teilnutzenwerte jeder Lösung hinsichtlich eines Sachverhalts gebildet.

5. Schritt: *Bestimmung des Gesamtnutzens je Alternative*

Durch die Zusammenfassung der Teilnutzenwerte wird der Gesamtnutzenwert hinsichtlich einer Lösung ermittelt. Nachdem der Gesamtnutzenwert für jede Lösung feststeht, wird die beste Lösung anhand des höchsten Gesamtnutzenwertes identifiziert.

Der **Gesamtnutzenwert** einer Lösung hinsichtlich eines Sachverhalts errechnet sich dabei nach Gleichung (B.1) [nach Wöltje, 2010, S. 112]:

$$GN = \sum_{j=1}^m Gt_j \cdot G_j \quad (\text{B.1})$$

mit:	GN	Gesamtnutzenwert einer Lösung
	Gt_j	Güte einer Lösung bezogen auf die Kriterien j
	G_j	Gewichtungsfaktor der Kriterien j
	$j = 1 \dots m$	Laufindex der Kriterien (m = Anzahl der Kriterien)

Die Nutzwertanalyse als Verfahren zur Bewertung unterschiedlicher Lösungen hinsichtlich eines Sachverhalts hat verschiedene Vor- und Nachteile. Im Folgenden werden die wichtigsten Vor- und Nachteile kurz erläutert [vgl. Gonschorrek, 2007, S. 283]:

Vorteile: Die hohe Flexibilität des Werte- und Zielsystems erlaubt die Anpassung an eine große Zahl spezieller Erfordernisse, sodass eine direkte Vergleichbarkeit der einzelnen Lösungen auch dann gewährleistet ist, wenn eine monetäre Bewertung der Lösungen allein nicht zum Ziel führen. Des Weiteren ist die Nutzwertanalyse mit anderen Methoden zur Bewertung von Lösungen einfach zu kombinieren und durch die strukturierte Vorgehensweise jederzeit gut nachvollzieh- und überprüfbar.

Nachteile: Die Hauptschwierigkeit liegt in der Subjektivität bei der Gewichtung sowohl im Bereich der Ziele als auch bei den Erfüllungsgraden der einzelnen Lösungen. Doch auch die Vergleichbarkeit der Lösungen ist nicht immer gewährleistet, da die Lösungen nicht immer in derselben Hinsicht verglichen werden. Vor allem aber ist der relativ hohe Zeitaufwand bei der Durchführung einer Nutzwertanalyse zu berücksichtigen.

Für die Bestimmung der Kriteriengewichtung eignet sich die häufig verwendete Methode des „**Paarweisen Vergleichs**“. Hierbei werden die Zielbereiche und Einzelkriterien des Werte- und Zielsystems paarweise gegenübergestellt und verglichen. Es wird dabei bestimmt, welchem der jeweiligen Zielbereiche und Einzelkriterien im direkten Vergleich eine höhere Bedeutung (Gewichtung) zugemessen wird. Der Paarweise Vergleich wird dann angewendet, wenn auch subjektive Kriterien erfasst und gleichzeitig kleine Unterschiede aufgezeigt werden sollen. Dabei erhalten diejenigen Zielbereiche und Einzelkriterien, die im Vergleich zu den anderen am häufigsten berücksichtigt werden, die höchste Gewichtung, sodass eine Rangfolge der gewichteten Zielbereiche und Einzelkriterien gebildet werden kann [vgl. Seibert, 1998, S. 65].

Zur Durchführung der Gewichtung von Zielbereichen und Einzelkriterien werden die Zielbereiche und Einzelkriterien in eine Matrix eingetragen. Danach werden die Zielbereiche und Einzelkriterien der Spalten mit den Zielbereichen und Einzelkriterien der Zeilen verglichen und mit Punkten nach folgendem Schema bewertet, sodass eine Rangfolge der gewichteten Zielbereiche und Einzelkriterien entsteht:

0 Punkte: Das Kriterium in der Zeile der Matrix ist gegenüber dem Kriterium in der Spalte der Matrix *unwichtiger*.

1 Punkt: Die beiden Kriterien sind *gleichwertig*.

2 Punkte: Das Kriterium in der Zeile der Matrix ist gegenüber dem Kriterium in der Spalte der Matrix *wichtiger*.

In Tabelle B.1 ist die Gewichtung von Kriterien mit Hilfe des „Paarweisen Vergleichs“ anhand von vier Kriterien dargestellt.

Tabelle B.1: Matrix des „Paarweisen Vergleichs“

Bewertungs- kriterien	Kriterium ₁ [Pkt.]	Kriterium ₂ [Pkt.]	Kriterium ₃ [Pkt.]	Kriterium ₄ [Pkt.]	Gewich- tungsfaktor [Pkt.]	normierter Gewichtungs- faktor [%]
Kriterium ₁	–	2	1	2	5	41,67
Kriterium ₂	0	–	1	1	2	16,67
Kriterium ₃	1	1	–	1	3	25,00
Kriterium ₄	0	1	1	–	2	16,67
	Summe:				12	100,00

Quelle: Eigene Darstellung

B.2 Experten der Instandhaltung

Tabelle B.2: Instandhaltungsexperten

Nachname, Vorname Akademischer Grad	Unternehmen/Einrichtung	Branche
Aderhold , Günther	Müller Weingarten AG, Umformtechnik Erfurt Schwerborner Straße 1, 99086 Erfurt	Maschinen- und Anlagenbau
Ammerhuber , Frank	Logistik Center Berka GmbH Wildeckstraße 2, 99837 Berka	Logistikdienstleistung
Eisenkrätzer , Thomas	Borbet Thüringen GmbH Am Fliegerhorst 17, 99947 Bad Langensalza	Automotive
Driesel , Henry Dr.-Ing.	Rettig Germany GmbH GmbH Werk Meiningen Dammstraße 30, 98617 Meiningen	Heizungs- und Anlagenbau
Hofmann , Mathias	August Storck KG Am Gehrengaben 2, 98693 Ohrdruf	Lebensmittelindustrie
Holznagel , Marco	Schachtbau Nordhausen GmbH Industrieweg 2a, 99734 Nordhausen	Maschinen- und Anlagenbau
Jung , Frederic BSc.	TU Ilmenau, Fachgebiet Fabrikbetrieb Gustav Kirchhoff-Platz 2, 98693 Ilmenau	Wissenschaft und Forschung
Kammann , Axel Dipl.-Ing. (FH)	EUT Erdrich Umformtechnik GmbH & Co. KG Über der Gebind 2, 99610 Orlshausen	Metallverarbeitung und -bearbeitung
Karsch , Torsten Dipl.-Ing.	Robert Bosch Fahrzeugelektrik Eisenach GmbH Robert-Bosch-Allee 1, 99803 Eisenach	Automotive
Kottwitz , Mathias	N3 Engine Overhaul, Services GmbH & Co. KG Gerhard-Höltje-Straße 1, 99310 Arnstadt	Luftfahrtindustrie
Krause , Holger Dipl.-Ing.	Portec GmbH Am Köhlersgehäu 32, 98544 Zella-Mehlis	Metall- und Kunststoffverarbeitung und -bearbeitung
Luchtenberg , Helmut	Borbet Thüringen GmbH Am Fliegerhorst 17, 99947 Bad Langensalza	Automotive
Miksch , Thomas	Rhenus Medien, Gotha GmbH & Co. KG Langenscheidtstraße 10, 99867 Gotha	Logistikdienstleistung
Müller , Henning	Wolfgang Zorn & Henning Müller GbR Caspar-Schulte-Straße 8, 07407 Rudolstadt	Softwaredienstleistung
Müller , Jörg Dipl.-Ing. (FH)	EUT Erdrich Umformtechnik GmbH & Co. KG Über der Gebind 2, 99610 Orlshausen	Metallverarbeitung und -bearbeitung
Petter , Frank Dipl.-Ing.	Werra Papier Wernshausen GmbH Unterm Bahnhof 10, 98574 Schmalkalden	Papierherzeugung
Scheid , Wolf-Michael Prof. Dr.-Ing.	TU Ilmenau, Fachgebiet Fabrikbetrieb Gustav Kirchhoff-Platz 2, 98693 Ilmenau	Wissenschaft und Forschung
Schmidt , Lutz	pdz Apfelstädt GmbH & Co. KG Sülzenbrücker Straße 7, 99192 Apfelstädt	Logistikdienstleistung
Schmieder , Robert Dipl.-Wirt.-Ing. (FH)	N3 Engine Overhaul, Services GmbH & Co. KG Gerhard-Höltje-Straße 1, 99310 Arnstadt	Luftfahrtindustrie
Sparschuh , Andreas Dipl.-Wirt.-Ing.	TÜV Thüringen e.V. Ickershäuser Straße 32, 99310 Arnstadt	Dienstleister
Thiel , Björn	Horn & Bauer Profiltechnik GmbH Gewerbegebiet, 98704 Wolfsberg-Wümbach	Kunststoffverarbeitung und -bearbeitung
Töpfer , Andreas	PVT Kunststoffverarbeitung Thüringen GmbH Ringstraße 14, 99885 Ohrdruf	Kunststoffverarbeitung und -bearbeitung
Weißbach , Andreas Dipl.-Ing.	TU Ilmenau, Fachgebiet Fabrikbetrieb Gustav Kirchhoff-Platz 2, 98693 Ilmenau	Wissenschaft und Forschung
Zimmermann , Axel Dipl.-Ing.	Schulte GmbH Am Auwald 24, 99755 Ellrich	Maschinen- und Anlagenbau

Quelle: Eigene Darstellung

B.3 Gewichtung der Wertebereiche

Tabelle B.3: Gewichtung der Wertebereiche

Wertebereiche (G – Gewichtungsfaktor [Pkt.], G_{norm} – normierter Gewichtungsfaktor [%])														
	WB ₁		WB ₂		WB ₃		WB ₄		WB ₅		WB ₆		WB ₇	
	G	G_{norm}	G	G_{norm}	G	G_{norm}	G	G_{norm}	G	G_{norm}	G	G_{norm}	G	G_{norm}
Experte ₁	7	0,17	6	0,14	9	0,21	4	0,10	6	0,14	1	0,02	9	0,21
Experte ₂	2	0,05	10	0,24	7	0,17	5	0,12	8	0,19	2	0,05	8	0,19
Experte ₃	9	0,21	3	0,07	6	0,14	9	0,21	5	0,12	5	0,12	5	0,12
Experte ₄	1	0,02	11	0,26	7	0,17	6	0,14	9	0,21	2	0,05	6	0,14
Experte ₅	6	0,14	7	0,17	7	0,17	5	0,12	4	0,10	7	0,17	6	0,14
Experte ₆	6	0,14	9	0,21	7	0,17	5	0,12	6	0,14	6	0,14	3	0,07
Experte ₇	9	0,21	12	0,29	7	0,17	6	0,14	2	0,05	5	0,12	1	0,02
Experte ₈	8	0,19	8	0,19	7	0,17	7	0,17	5	0,12	2	0,05	5	0,12
Experte ₉	7	0,17	6	0,14	6	0,14	6	0,14	6	0,14	5	0,12	6	0,14
Experte ₁₀	10	0,24	12	0,29	8	0,19	6	0,14	2	0,05	4	0,10	0	0,00
Experte ₁₁	8	0,19	8	0,19	7	0,17	7	0,17	5	0,12	2	0,05	5	0,12
Experte ₁₂	2	0,05	10	0,24	4	0,10	2	0,05	4	0,10	10	0,24	10	0,24
Experte ₁₃	6	0,14	7	0,17	11	0,26	8	0,19	2	0,05	6	0,14	2	0,05
Experte ₁₄	10	0,24	6	0,14	5	0,12	10	0,24	9	0,21	1	0,02	1	0,02
Experte ₁₅	7	0,17	10	0,24	7	0,17	8	0,19	5	0,12	3	0,07	2	0,05
Summe:		2,31 15,4 %		3,05 20,3 %		2,50 16,7 %		2,26 15,1 %		1,83 12,2 %		1,40 9,4 %		1,64 11,0 %
														15,00 100 %

Quelle: Eigene Darstellung

B.4 Bewertungskriterien der Kategorien

B.4.1 Stärken einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

Tabelle B.4: Technische Stärken einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

	WB ₁ 0 - 8	WB ₂ 0 - 8	WB ₃ 0 - 8	WB ₄ 0 - 8	WB ₅ 0 - 8	WB ₆ 0 - 8	WB ₇ 0 - 8
1. Erhöhung der Verfügbarkeit der technischen Einheiten							
- Angemessene Instandhaltung wirkt sich auf die Zuverlässigkeit der technischen Einheiten aus.
- Höhere Zuverlässigkeit ermöglicht den sicheren Einsatz und eine höhere Verfügbarkeit der technischen Einheiten.							
2. Verbesserung der Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten							
- Höhere Funktionssicherheit der einzelnen Komponenten ermöglicht eine gleichmäßigere Einsatzfähigkeit und Auslastung der technischen Einheiten.
- Bessere Leistungsausbeute steigert die Produktivität der technischen Einheiten.							
3. Gleichmäßige Nutzung der technischen Einheiten							
- Bessere Auslastung und weniger Überlastung durch konstante Nutzung der technischen Einheiten.
- Weniger Störungen und Ausfälle der technischen Einheiten verbessern die Lieferfähigkeit und Liefertreue gegenüber dem Kunden.							
4. Konfiguration der Produktions- bzw. Herstellungsprozesse							
- Justierung der Prozesse ermöglicht ein optimales Prozessergebnis.
- Erhöhung der Qualität des Ausbringungsgutes durch Kalibrierung der Parameter aufgrund von mehr Prozesswissen.							
5. Erweiterung des Wissens der Instandhaltungsmitarbeiter durch Know-how-Transfer							
- Gegenseitiges Unterstützen ermöglicht einen Wissensaustausch und die Ausweitung der Instandhaltungskompetenz.
- Fachliche Diskussionen zwischen den Instandhaltungsmitarbeitern der horizontalen Kooperation ermöglichen die Generierung von neuen Instandhaltungslösungen.							
- Eigenes Instandhaltungspersonal und das der Kooperationspartner sichern die gleichmäßig gute Qualität der Leistungserbringung.							
6. Herstellerinstandhaltung und Instandhaltungsdienstleister nur noch in Sonderfällen							
- Spezialisierte Instandhaltungsleistungen müssen nur noch für spezielle Instandhaltungsaufgaben genutzt werden.
7. Verbesserung des Unfall- und Arbeitsschutzes durch regelmäßige Instandhaltung							
- Häufigere Funktionstests bei sicherheits- und umweltrelevanten Komponenten.
- Nachweis zum Arbeitsschutz aufgrund regelmäßig durchgeführter Instandhaltungsmaßnahmen möglich.							
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.5: Wirtschaftliche Stärken einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

	WB ₁ 0 - 8	WB ₂ 0 - 8	WB ₃ 0 - 8	WB ₄ 0 - 8	WB ₅ 0 - 8	WB ₆ 0 - 8	WB ₇ 0 - 8
1. Kostengünstigere Instandhaltungsdurchführung durch Kooperation							
- Abgestimmter Stundenverrechnungssatz für das Instandhaltungspersonal aller Kooperationspartner.
- Kurze Reaktionszeiten bei Störungen oder Ausfällen aufgrund kurzer (An-) Reisezeit.							
- Nutzung von gemeinschaftlichen Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw.							
2. Optimierung der technischen Einheiten sowie der Produktions- bzw. Herstellungsprozesse							
- Erweiterung des Leistungsspektrums durch Verbesserungsmaßnahmen an den technischen Einheiten.
- Steigerung der Qualität des Ausbringungsgutes und Reduzierung von Nacharbeiten.							
3. Reduzierung der Lebenszykluskosten der technischen Einheiten							
- Weniger ausgiebige Instandhaltungsmaßnahmen zur Reduzierung der Gesamtkosten von technischen Einheiten.
- Wahrung eines funktions- und leistungsfähigen Zustands der technischen Einheiten durch hochwertigere Instandhaltung.							
4. Zentrale Materialwirtschaft der Ersatzteile, Betriebs- und Hilfsmittel usw.							
- Kosteneinsparung durch Aufteilung der Beschaffungskosten für Ersatzteile, Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw.
- Geringere Beschaffungskosten für Ersatzteile, Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw. durch Abnahme größerer Mengen.							
- Senkung der Kapitalbindung durch Abstimmung und Reduzierung der Ersatzteile.							
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.6: Organisatorische Stärken einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

	WB ₁ 0-8	WB ₂ 0-8	WB ₃ 0-8	WB ₄ 0-8	WB ₅ 0-8	WB ₆ 0-8	WB ₇ 0-8
1. Erhöhung der Verfügbarkeit von Instandhaltungsressourcen <ul style="list-style-type: none"> - Konstante Betreuung durch kurzfristig verfügbares Instandhaltungspersonal; gilt auch, wenn eigenes Personal nicht vorhanden oder abwesend (Urlaub, Krankheit, Weiterbildung usw.) ist. - Kurze Reaktionszeiten bei Störungen oder Ausfällen aufgrund kurzer (An-) Reisezeit. - Nutzung von gemeinschaftlichen Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw.
2. Nutzung ausformulierter und angepasster Vorgehensweisen bei der Instandhaltung <ul style="list-style-type: none"> - Auswahl und Festlegung von Strategien und Konzepten bei der Instandhaltung der technischen Einheiten. - Gegenseitige Unterstützung bei aufwendigen Analysen (RCM, RBM, FMEA usw.) zur besseren Fehlerdiagnose.
3. Flexibilität von Instandhaltungskapazitäten <ul style="list-style-type: none"> - Überkapazitäten können an die Kooperationspartner abgegeben werden; fehlende Instandhaltungsressourcen können einfach beschafft werden. - Unterstützt eine positive Entscheidung zur Wahrung bzw. zum Aus- und Aufbau von Instandhaltungskapazitäten.
4. Aufteilen von Instandhaltungskompetenz auf mehrere Kooperationspartner <ul style="list-style-type: none"> - Einzelnes Wissen kann auf mehrere Instandhaltungsmitarbeiter verteilt werden (Know-how-Transfer). - Spezielle Fachkompetenz kann durch gemeinsame Schulungen aufgebaut werden. - Konzentration auf die Stärken einzelner Instandhaltungsmitarbeiter für spezielle Instandhaltungsaufgaben.
5. Herstellerinstandhaltung und Instandhaltungsdienstleister nur noch in Sonderfällen <ul style="list-style-type: none"> - Einzelnes Wissen kann auf mehrere Instandhaltungsmitarbeiter verteilt werden (Know-how-Transfer). - Spezielle Kompetenzen können durch gemeinsame Schulungen aufgebaut werden. - Konzentration auf die Stärken einzelner Instandhaltungsmitarbeiter der Kooperationspartner für spezielle Instandhaltungsaufgaben.
6. Verbesserung der Materialwirtschaft für Ersatzteile, Betriebs- und Hilfsmittel usw. <ul style="list-style-type: none"> - Höhere Verfügbarkeit von notwendigen Ersatzteilen, Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. verbessert gleichzeitig die Verfügbarkeit der technischen Einheiten. - Einrichtung einer gemeinsamen Ersatzteilkonzeption und Überwachung der Funktionsfähigkeit der Ersatzteile.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.7: Soziale Stärken einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

	WB ₁ 0-8	WB ₂ 0-8	WB ₃ 0-8	WB ₄ 0-8	WB ₅ 0-8	WB ₆ 0-8	WB ₇ 0-8
1. Abwechslungsreichere Aufgaben durch Ausweitung des Tätigkeitsfeldes <ul style="list-style-type: none"> - Unternehmens- bzw. branchenübergreifende Instandhaltungsaufgaben bieten ein neues Aufgabenspektrum und somit neue Herausforderungen. - Kontakt zu Mitarbeitern der Kooperationspartner ermöglicht fachlichen Austausch.
2. Motivationssteigerung der Instandhaltungsmitarbeiter durch mehr Verantwortung <ul style="list-style-type: none"> - Höhere Wertschätzung und Verantwortung motivieren zu guten Leistungen. - Aufgaben im Kooperationsverbund als besondere Herausforderung und Privileg für Instandhaltungsmitarbeiter, die sich besonders engagieren.
3. Beförderung und bessere Verdienstmöglichkeiten der Instandhaltungsmitarbeiter <ul style="list-style-type: none"> - Zusätzliches Engagement begünstigt eine unternehmensinterne Beförderung. - Übernahme zusätzlicher Aufgaben bedingt bessere Verdienstmöglichkeiten.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

B.4.2 Chancen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

Tabelle B.8: Technische Chancen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

	WB ₁ 0 - 8	WB ₂ 0 - 8	WB ₃ 0 - 8	WB ₄ 0 - 8	WB ₅ 0 - 8	WB ₆ 0 - 8	WB ₇ 0 - 8
1. Sicherstellung einer zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit der technischen Einheiten <ul style="list-style-type: none"> - Intensivere Instandhaltung auf hohem Niveau bedingt eine schnellere Sicherstellung der geforderten Verfügbarkeit der technischen Einheiten. - Störungen und Ausfälle können frühzeitig diagnostiziert und dafür technische Lösungen erarbeitet werden.
2. Optimierung der Funktions- und Leistungsfähigkeit von technischen Einheiten <ul style="list-style-type: none"> - Erweiterung des Leistungsspektrums durch Verbesserungsmaßnahmen an den technischen Einheiten. - Gesteigerte Leistungsfähigkeit ermöglicht intensivere Nutzung und höhere Produktivität der technischen Einheiten.
3. Steigerung der Lebensdauer von technischen Einheiten <ul style="list-style-type: none"> - Intensivere Instandhaltung auf hohem Niveau bedingt eine längere Lebensdauer der technischen Einheiten. - Sammeln von Erfahrungswerten über die Haltbarkeit bestimmter Teile, Bauelemente, Komponenten oder Funktionseinheiten.
4. Effizientere Nutzung von Betriebs- und Hilfsstoffen <ul style="list-style-type: none"> - Aufbrauchen von Betriebs- und Hilfsstoffen innerhalb des Haltbarkeitszeitraums. - Verbesserter Umweltschutz (Image) durch intensivere Instandhaltung.
5. Planung von neuen technischen Einheiten <ul style="list-style-type: none"> - Einbringen von unternehmens- bzw. branchenübergreifenden Erfahrungen zur Entwicklung verbesserter Teile, Bauelemente, Komponenten oder Funktionseinheiten. - Reduzierung von störungsanfälligen, instandhaltungsintensiven Teilen, Bauelementen, Komponenten oder Funktionseinheiten.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.9: Wirtschaftliche Chancen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

	WB ₁ 0 - 8	WB ₂ 0 - 8	WB ₃ 0 - 8	WB ₄ 0 - 8	WB ₅ 0 - 8	WB ₆ 0 - 8	WB ₇ 0 - 8
1. Reduzierung der direkten und indirekten Instandhaltungskosten (allgemein) <ul style="list-style-type: none"> - Verkürzung der Reaktionszeiten und schnellere Wiederinbetriebnahme der technischen Einheiten nach Instandhaltungseinsätzen. - Reduzierung des Instandhaltungsaufwands durch gezielte Instandhaltungsmaßnahmen und besser ausgebildetes Instandhaltungspersonal. - Einsparung von Lagerflächen und bessere Ausnutzung von Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw.
2. Kosteneinsparung bei der Personalentwicklung <ul style="list-style-type: none"> - Kosteneinsparung durch gemeinsame Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen. - Einführung eines neuen Entlohnungssystems (Qualitäts-, Einzel- bzw. Teamprämien).
3. Akkreditierungsmöglichkeiten durch verbesserte Instandhaltung <ul style="list-style-type: none"> - Standardisierte Instandhaltungsprozesse ermöglichen eine Zertifizierung für neue, erweiterte Tätigkeitsfelder der Unternehmen. - Gewinnung neuer Kunden aus bisher fremden Branchen.
4. Verbesserung des Unfall- und Arbeitsschutzes durch regelmäßige Instandhaltung <ul style="list-style-type: none"> - Nachweis zum Arbeitsschutz aufgrund regelmäßig durchgeführter Instandhaltungsmaßnahmen möglich.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.10: Organisatorische Chancen einer horizontalen Instandhaltungskooperation

	WB ₁ 0-8	WB ₂ 0-8	WB ₃ 0-8	WB ₄ 0-8	WB ₅ 0-8	WB ₆ 0-8	WB ₇ 0-8
1. Neuordnung und Standardisierung der Instandhaltungsbereiche und -prozesse							
<ul style="list-style-type: none"> - Beseitigen von Schwachstellen in den Instandhaltungsbereichen. - Einführung von Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssoftware (IPS-Software). - Zentrale Auswertung und Diskussion von wiederkehrenden Problemstellungen.
2. Einführung einer Wissensdatenbank innerhalb der Instandhaltungskooperation							
<ul style="list-style-type: none"> - Aufbereitung technischer Problemstellungen und Lösungen (Erfahrungsaustausch). - Optimierung der Instandhaltungsplanung und -steuerung.
3. Verfügbarkeit von Instandhaltungsressourcen							
<ul style="list-style-type: none"> - Einführung von Schichtsystemen zur Verfügbarkeitserhöhung von Instandhaltungsmitarbeitern. - Bedarfsabhängige Nutzung von Herstellerinstandhaltung und Instandhaltungsdienstleistern immer noch möglich. - Nutzung von gemeinschaftlichen Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. - Zusammenarbeit bei der Auswahl von neuen Instandhaltungsmitarbeitern.
4. Zentrale Materialwirtschaft der Ersatzteile, Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw.							
<ul style="list-style-type: none"> - Gemeinsame Beschaffung von Ersatzteilen, Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw.; geringerer Beschaffungsaufwand und kürzere Beschaffungszeiten. - Bessere Bestandsübersicht durch verbesserte Materialwirtschaft sowie Reduzierung bzw. Erweiterung der Ersatzteillieferanten durch neue Kontakte. - Verminderung der Abhängigkeit von einzelnen Ersatzteillieferanten.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.11: Soziale Chancen einer horizontalen Instandhaltungskooperation

	WB ₁ 0-8	WB ₂ 0-8	WB ₃ 0-8	WB ₄ 0-8	WB ₅ 0-8	WB ₆ 0-8	WB ₇ 0-8
1. Bessere Zusammenarbeit durch kooperative Abstimmungen							
<ul style="list-style-type: none"> - Gezielte Aufgabenteilung und achtsames Miteinander verbessern die Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern. - Fachliche Diskussionen führen zum besseren Verständnis unterschiedlicher Situationen und Anliegen.
2. Investitionen in die Personalentwicklung erhöhen die Attraktivität des Arbeitgeber							
<ul style="list-style-type: none"> - Konkrete Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen führen zu höherwertigen Aufgaben in Anlehnung an das Niveau der Herstellerinstandhaltung und Instandhaltungsdienstleister. - Mehr Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen stärken das Zugehörigkeitsgefühl und steigern die Loyalität innerhalb der einzelnen Unternehmen.
3. Verbesserung des Unfall- und Arbeitsschutzes durch regelmäßige Instandhaltung							
<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhte Arbeitssicherheit für die Bediener von technischen Einheiten. - Hochwertig durchgeführte Instandhaltungsmaßnahmen schützen vor Gefahren für Mensch und Umwelt.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

B.4.3 Schwächen einer horizontalen Instandhaltungskooperation

Tabelle B.12: Technische Schwächen einer horizontalen Instandhaltungskooperation

	WB ₁ 0-8	WB ₂ 0-8	WB ₃ 0-8	WB ₄ 0-8	WB ₅ 0-8	WB ₆ 0-8	WB ₇ 0-8
1. Verfügbarkeits- und Qualitätseinbußen durch hohen Zeitdruck							
<ul style="list-style-type: none"> - Hoher Zeitdruck und mögliche Doppelunterstellung können zu vermehrten Fehlern bei der Instandhaltung der technischen Einheiten führen. - Störungen und Ausfälle führen zu geringerer Verfügbarkeit der technischen Einheiten.
2. Keine Gewährleistung für durchgeführte Instandhaltungstätigkeiten							
<ul style="list-style-type: none"> - Gewährleistungsanspruch bei schlechter Leistung der durchgeführten Instandhaltungstätigkeiten beim Kooperationspartner kaum durchsetzbar.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.13: Wirtschaftliche Schwächen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

	WB ₁ 0 - 8	WB ₂ 0 - 8	WB ₃ 0 - 8	WB ₄ 0 - 8	WB ₅ 0 - 8	WB ₆ 0 - 8	WB ₇ 0 - 8
1. Initiierung einer Instandhaltungs Kooperation verursacht Kosten							
- Langfristige Entwicklung und Umsetzung einer Instandhaltungs Kooperation erfordert viel Zeit und Ressourcen.
- Zunehmende Kosten für moderne Kommunikationsmittel (Mobiltelefone, mobile Computer usw.).
2. Verfügbarkeit des Instandhaltungspersonals bei häufigeren Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen							
- Vorübergehende Abwesenheit der Instandhaltungsmitarbeiter und Kostenzunahme durch umfassendere und teure Schulungsmaßnahmen.
- Einarbeitung in unternehmensfremde Technologien verursacht zusätzliche Kosten.
3. Höherer Verwaltungsaufwand der Instandhaltungsmitarbeiter verursacht Zusatzkosten							
- Größerer Aufwand bei der Organisation sowie Arbeitszeitermittlung und Rechnungserstellung für Tätigkeiten bei den Kooperationspartnern.
- Mehraufwand zur Klärung der Rechtslage und Absicherung durch Versicherungen der Instandhaltungs Kooperation.
4. Einrichtung einer zentralen Materialwirtschaft verursacht Kosten							
- Lagerflächen für Ersatzteile, Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsstoffe usw. (auch Gefahrstoffe) müssen eingerichtet werden; gegebenenfalls fallen Kosten für Miete, Regalsysteme, Software zur Bestandsverwaltung an.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.14: Organisatorische Schwächen einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

	WB ₁ 0 - 8	WB ₂ 0 - 8	WB ₃ 0 - 8	WB ₄ 0 - 8	WB ₅ 0 - 8	WB ₆ 0 - 8	WB ₇ 0 - 8
1. Initiierung einer Instandhaltungs Kooperation sehr aufwendig							
- Identifizierung von vorhandenem Kooperationspotenzial und Ermittlung der eigenen Kooperationsfähigkeit schwierig und häufig mit hohem Aufwand verbunden.
- Auswahl geeigneter Kooperationspartner und anschließende Kooperationsanbahnung oft lange andauernd und sehr anstrengend.
- Kooperationsverhandlungen und Vertragsgestaltung oft sehr mühsam.
2. Entwicklung und Umsetzung der Kooperation aufwendig							
- Hoher Aufwand bei der Entwicklung und Realisierung (Organisationsstruktur, Festlegung der Zuständigkeiten, Stabilisierung).
- Koordinierung des Instandhaltungspersonals mehrerer Kooperationspartnern schwierig.
- Mögliche Doppelunterstellung der Instandhaltungsmitarbeiter (Weisungsbefugnis) birgt Konfliktpotenzial.
3. Klärung der Rechtslage und Absicherung durch Versicherungen							
- Mehraufwand zur Klärung der Rechtslage einer Instandhaltungs Kooperation und zur Absicherung durch Versicherungen.
4. Verfügbarkeit der Instandhaltungsmitarbeiter zeitweise eingeschränkt							
- Vorübergehende Abwesenheit der Instandhaltungsmitarbeiter durch häufigere Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen.
- Notwendigkeit einer Prioritätenregelung bei gleichzeitiger Anforderung von Instandhaltungsmitarbeitern (Weisungsbefugnis).
5. Einrichtung einer zentralen Materialwirtschaft der Ersatzteile, Betriebs- und Hilfsmittel usw.							
- Eventuell längere Wege zum zentralen Lager der gemeinsamen Spezialwerkzeuge, Betriebs- und Hilfsmittel usw.
- Nutzung von gemeinsamen Spezialwerkzeugen, Betriebs- und Hilfsmitteln usw. muss abgestimmt werden.
- Eigenständigkeit der Unternehmen sinkt und eine gewisse Abhängigkeit von den Kooperationspartnern nimmt zu.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.15: Soziale Schwächen einer horizontalen Instandhaltungskooperation

	WB ₁ 0-8	WB ₂ 0-8	WB ₃ 0-8	WB ₄ 0-8	WB ₅ 0-8	WB ₆ 0-8	WB ₇ 0-8
1. Nur flexible und belastbare Instandhaltungsmitarbeiter einsetzbar							
- Hohe Teamfähigkeit bei den Instandhaltungsmitarbeitern notwendig.
- Potenzial zur Konfliktbewältigung bei Doppelunterstellung muss vorhanden sein.							
2. Hohe fachliche Anforderungen an das Instandhaltungspersonal							
- Hohe Anforderungen können die Aufnahme- und Lernfähigkeit der Instandhaltungsmitarbeiter hemmen; ein Motivationsverlust kann eintreten.
- Notwendiges Wissen über unternehmensfremde technische Einheiten muss kurzfristig aufgebaut werden.							
3. Bereitschaft zur Durchführung von zeitintensiven Instandhaltungsaufgaben							
- Grundsätzliches Einverständnis mit Überstunden muss bei den Instandhaltungsmitarbeitern vorhanden sein.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

B.4.4 Risiken einer horizontalen Instandhaltungskooperation

Tabelle B.16: Technische Risiken einer horizontalen Instandhaltungskooperation

	WB ₁ 0-8	WB ₂ 0-8	WB ₃ 0-8	WB ₄ 0-8	WB ₅ 0-8	WB ₆ 0-8	WB ₇ 0-8
1. Störungen und Ausfälle durch fehlerhafte Instandhaltung							
- Instandhaltungsmitarbeiter der Kooperationspartner kennen die technischen Einheiten nicht ausreichend gut, was zu fehlerhafter Instandhaltungsdurchführung führen kann.
- Fehlendes Wissen um Produktions- bzw. Herstellungsprozesse führt möglicherweise zu falscher Diagnose bei der Instandhaltung.							
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.17: Wirtschaftliche Risiken einer horizontalen Instandhaltungskooperation

	WB ₁ 0-8	WB ₂ 0-8	WB ₃ 0-8	WB ₄ 0-8	WB ₅ 0-8	WB ₆ 0-8	WB ₇ 0-8
1. Erfolg der Kooperation zur unternehmensübergreifenden Instandhaltung schwer zu beurteilen							
- Auswirkungen in vielen Bereichen der Instandhaltungskooperation nicht vorhersehbar.
2. Monetäre Schäden bei fehlerhaft durchgeführten Instandhaltungstätigkeiten							
- Finanzieller Schaden bei schlechter Leistung des Kooperationspartners bleibt beim Betreiber der technischen Einheiten.
- Rechtslage bei Schäden oder Unfällen durch Versicherungen nicht eindeutig geklärt.							
3. Gefahr des Verlustes von unternehmensspezifischen Informationen und Geheimnissen							
- Einsicht in Produktions- bzw. Herstellungsprozesse kann zum Verlust von technischem und ideellem Wissen führen.
- Verlust von Wettbewerbsvorteilen und Unternehmensgeheimnissen möglich.							
4. Einführung eines neuen Schicht- und Entlohnungssystems							
- Schichtsystem und Überstunden bringen Mehrkosten für Zuschläge mit sich.
- Prämien für das Instandhaltungspersonal kann als selbstverständlich erachtet werden.							
- Einführung eines neuen Entlohnungssystems kann bei unterschiedlicher Tarifzugehörigkeit der beteiligten Unternehmen problematisch sein; eventuell auch divergierende Unternehmensphilosophien.							
5. Fluktuation der Instandhaltungsmitarbeiter zu einem Unternehmen außerhalb der Kooperation							
- Bessere Arbeitsbedingungen und Verdienstmöglichkeiten bei anderen Unternehmen.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.18: Organisatorische Risiken einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

	WB ₁ 0 - 8	WB ₂ 0 - 8	WB ₃ 0 - 8	WB ₄ 0 - 8	WB ₅ 0 - 8	WB ₆ 0 - 8	WB ₇ 0 - 8
<i>1. Eindeutige Zuständigkeit der unterschiedlichen Instandhaltungsmitarbeiter notwendig</i>							
<ul style="list-style-type: none"> - Einschränkung in der Entscheidungsfreiheit und Flexibilität kann zu Meinungsverschiedenheiten führen. - Fehlinterpretation der Instandhaltungs Kooperation kann zu Übereifer einzelner Instandhaltungsmitarbeiter führen. - Ungewollte Abhängigkeit von den Kooperationspartnern.
<i>2. Organisations- und Verwaltungsaufwand der Instandhaltungs Kooperation sehr hoch</i>							
<ul style="list-style-type: none"> - Streitigkeiten zwischen den Kooperationspartnern bei dringenden Instandhaltungseinsätzen (Prioritäten). - Aufwendige Abwicklung der Instandhaltungsaufträge im IPS-System.
<i>3. Instandhaltungspersonal hat eventuell Zugang zu „geheimen Unternehmensbereichen“</i>							
<ul style="list-style-type: none"> - Verlust von Unternehmensgeheimnissen durch Know-how-Transfer trotz vorheriger Geheimhaltungsabsicherung. - Verlust von Wettbewerbsvorteilen gegenüber der Konkurrenz.
<i>4. Erfolg der kooperativen Instandhaltung schwer messbar</i>							
<ul style="list-style-type: none"> - Auswirkungen in vielen Bereichen der Instandhaltungs Kooperation nicht vorhersehbar.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.19: Soziale Risiken einer horizontalen Instandhaltungs Kooperation

	WB ₁ 0 - 8	WB ₂ 0 - 8	WB ₃ 0 - 8	WB ₄ 0 - 8	WB ₅ 0 - 8	WB ₆ 0 - 8	WB ₇ 0 - 8
<i>1. Überforderung des Instandhaltungspersonals durch unternehmensübergreifende Instandhaltung</i>							
<ul style="list-style-type: none"> - Fehlende Netzwerk- und Kommunikationsfähigkeit kann zu psychischen Belastungen führen. - Hohe Anforderungen und Leistungsdruck können die Aufnahme- und Lernfähigkeit der Instandhaltungsmitarbeiter hemmen. - Mehrbelastung für einzelne Instandhaltungsmitarbeiter durch erhöhten Lernaufwand.
<i>2. Konkurrenzdenken führt zu fehlender Kooperationsbereitschaft</i>							
<ul style="list-style-type: none"> - Streitigkeiten und Machtgebarren der Instandhaltungsmitarbeiter behindern den Aufbau eines „Wir-Gefühls“ und hemmen den offenen Umgang mit innovativen Ideen.
<i>3. Erhöhter Stress führt zu Unzufriedenheit und Motivationsverlusten</i>							
<ul style="list-style-type: none"> - Zeitlicher Druck erzeugt Stress und kann zu fehlerhaft durchgeführten Instandhaltungstätigkeiten führen. - Häufige Überstunden können zu Unzufriedenheit und Motivationsverlusten führen. - Höheres Risiko durch mehr Verantwortung und bei hoher Erwartungshaltung.
Summe der Bewertungspunkte [Pkt.]:

Quelle: Eigene Darstellung

B.5 Ergebnisse der Durchführung

B.5.1 Bestimmung von Teil- und Gesamtnutzen

Tabelle B.20: Ergebnisse der Expertenbefragung zu den technischen Stärken

	WB1	WB2	WB3	WB4	WB5	WB6	WB7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	normierter Gewichtungsfaktor [%]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	normierter Gewichtungsfaktor [%]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	Bewertungspunkte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Experte1	39	5,571	0,167	0,93	28	4,000	0,095	0,38	28	4,000	0,143	0,095	0,53	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.23: Ergebnisse der Expertenbefragung zu den sozialen Stärken

	WB1				WB2				WB3				WB4				WB5				WB6				WB7				effektiver sozialer Teilnutzen [Pkt.]
	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungs- punkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichts- faktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungs- punkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichts- faktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungs- punkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichts- faktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungs- punkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichts- faktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungs- punkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichts- faktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungs- punkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichts- faktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungs- punkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichts- faktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	
Experte1	12	4,000	0,167	0,67	12	4,000	0,214	0,86	12	4,000	0,095	0,38	12	4,000	0,143	0,57	12	4,000	0,143	0,57	12	4,000	0,214	0,86	12	4,000	0,214	0,86	4,00
Experte2	13	4,333	0,048	0,21	13	4,333	0,238	1,03	15	5,000	0,167	0,83	13	4,333	0,119	0,52	16	5,333	0,190	1,02	12	4,000	0,048	0,19	13	4,333	0,190	0,83	4,62
Experte3	16	5,333	0,214	1,14	18	6,000	0,071	0,43	18	6,000	0,143	0,86	16	5,333	0,214	1,14	15	5,000	0,119	0,60	15	5,000	0,119	0,48	12	4,000	0,119	0,48	5,24
Experte4	13	4,333	0,024	0,10	13	4,333	0,262	1,13	18	6,000	0,167	1,00	14	4,667	0,143	0,67	23	7,667	0,214	1,64	14	4,667	0,048	0,22	19	6,333	0,143	0,90	5,67
Experte5	14	4,667	0,143	0,67	14	4,667	0,167	0,94	17	5,667	0,167	0,94	13	4,333	0,119	0,52	18	6,000	0,095	0,57	15	5,000	0,167	0,83	13	4,333	0,143	0,62	4,93
Experte6	12	4,000	0,143	0,57	12	4,000	0,214	0,86	15	5,000	0,167	0,83	14	4,667	0,119	0,56	14	4,667	0,143	0,67	14	4,667	0,143	0,67	3	1,000	0,071	0,07	4,22
Experte7	12	4,000	0,214	0,86	12	4,000	0,286	1,14	13	4,333	0,167	0,72	13	4,333	0,143	0,62	13	4,333	0,048	0,21	12	4,000	0,119	0,48	12	4,000	0,024	0,10	4,12
Experte8	15	5,000	0,167	0,83	15	5,000	0,262	1,31	17	5,667	0,167	0,94	12	4,000	0,190	0,76	19	6,333	0,095	0,60	0	0,000	0,000	0,00	12	4,000	0,119	0,48	4,93
Experte9	12	4,000	0,167	0,67	18	6,000	0,143	0,86	14	4,667	0,143	0,67	10	3,333	0,143	0,48	18	6,000	0,143	0,86	12	4,000	0,119	0,48	12	4,000	0,143	0,57	4,57
Experte10	12	4,000	0,238	0,95	11	3,667	0,286	1,05	13	4,333	0,190	0,83	6	2,000	0,143	0,29	21	7,000	0,048	0,33	13	4,333	0,095	0,41	0	0,000	0,000	0,00	3,86
Experte11	12	4,000	0,190	0,76	12	4,000	0,190	0,76	12	4,000	0,167	0,67	12	4,000	0,167	0,67	12	4,000	0,119	0,48	12	4,000	0,048	0,19	12	4,000	0,119	0,48	4,00
Experte12	12	4,000	0,048	0,19	12	4,000	0,238	0,95	18	6,000	0,095	0,57	12	4,000	0,048	0,19	24	8,000	0,095	0,76	12	4,000	0,238	0,95	12	4,000	0,238	0,95	4,57
Experte13	21	7,000	0,143	1,00	22	7,333	0,167	1,22	23	7,667	0,262	2,01	21	7,000	0,190	1,33	24	8,000	0,048	0,38	20	6,667	0,143	0,95	20	6,667	0,048	0,32	7,21
Experte14	14	4,667	0,238	1,11	14	4,667	0,143	0,67	17	5,667	0,119	0,67	17	5,667	0,238	1,35	20	6,667	0,214	1,43	14	4,667	0,024	0,11	14	4,667	0,024	0,11	5,45
Experte15	13	4,333	0,167	0,72	13	4,333	0,167	0,72	13	4,333	0,167	0,72	14	4,667	0,190	0,89	12	4,000	0,119	0,48	9	3,000	0,071	0,21	12	4,000	0,048	0,19	4,25
	Sozialer Gesamtnutzen der Stärken [Pkt.]: (Summe der effektiven Teilnutzen)																												
	71,64																												

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.25: Ergebnisse der Expertenbefragung zu den wirtschaftlichen Chancen

	WB1			WB2			WB3			WB4			WB5			WB6			WB7			effektiver wirtschaftlicher Teilnutzen [Pkt.]		
	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	
Experte1	23	5,750	0,167	0,96	16	4,000	0,143	0,57	16	4,000	0,095	0,38	16	4,000	0,143	0,57	16	4,000	0,024	0,10	16	4,000	0,214	0,86
Experte2	17	4,250	0,048	0,20	16	4,000	0,238	0,95	17	4,250	0,167	0,71	19	4,750	0,119	0,57	15	3,750	0,048	0,18	19	4,750	0,190	0,90
Experte3	16	4,000	0,214	0,86	20	5,000	0,071	0,36	19	4,750	0,143	0,68	20	5,000	0,214	1,07	17	4,250	0,119	0,51	21	5,250	0,119	0,63
Experte4	19	4,750	0,024	0,11	21	5,250	0,262	1,37	25	6,250	0,167	1,04	24	6,000	0,143	0,86	20	5,000	0,095	0,30	23	5,750	0,143	0,82
Experte5	18	4,500	0,143	0,64	18	4,500	0,167	0,75	19	4,750	0,167	0,79	21	5,250	0,119	0,63	16	4,000	0,095	0,38	18	4,500	0,143	0,64
Experte6	16	4,000	0,143	0,57	16	4,000	0,214	0,86	16	4,000	0,167	0,67	16	4,000	0,119	0,48	16	4,000	0,143	0,57	16	4,000	0,071	0,29
Experte7	17	4,250	0,214	0,91	18	4,500	0,286	1,29	18	4,500	0,167	0,75	18	4,500	0,143	0,64	17	4,250	0,048	0,20	17	4,250	0,024	0,10
Experte8	20	5,000	0,167	0,83	24	6,000	0,262	1,57	27	6,750	0,167	1,13	26	6,500	0,190	1,24	22	5,500	0,095	0,52	0	0,000	0,119	0,68
Experte9	16	4,000	0,167	0,67	20	5,000	0,143	0,71	18	4,500	0,143	0,64	17	4,250	0,143	0,61	18	4,500	0,119	0,54	23	5,750	0,143	0,82
Experte10	16	4,000	0,238	0,95	16	4,000	0,286	1,14	16	4,000	0,190	0,76	22	5,500	0,143	0,79	18	4,500	0,095	0,43	0	0,000	0,000	0,00
Experte11	20	5,000	0,190	0,95	19	4,750	0,190	0,90	19	4,750	0,167	0,79	19	4,750	0,167	0,79	16	4,000	0,048	0,19	16	4,000	0,119	0,48
Experte12	16	4,000	0,048	0,19	18	4,500	0,238	1,07	22	5,500	0,095	0,52	22	5,500	0,048	0,26	24	6,000	0,238	1,07	24	6,000	0,238	1,43
Experte13	27	6,750	0,143	0,96	28	7,000	0,167	1,17	29	7,250	0,262	1,90	30	7,500	0,190	1,43	28	7,000	0,048	0,33	23	5,750	0,048	0,27
Experte14	17	4,250	0,238	1,01	17	4,250	0,143	0,61	19	4,750	0,119	0,57	21	5,250	0,238	1,25	21	5,250	0,024	0,11	19	4,750	0,024	0,11
Experte15	23	5,750	0,167	0,96	24	6,000	0,238	1,43	22	5,500	0,167	0,92	17	4,250	0,190	0,81	19	4,750	0,119	0,57	16	4,000	0,048	0,19
Wirtschaftlicher Gesamtnutzen der Chancen [Pkt.]: (Summe der effektiven Teilnutzen)																					73,67			

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.28: Ergebnisse der Expertenbefragung zu den technischen Schwächen

	WB1				WB2				WB3				WB4				WB5				WB6				WB7				effektiver technischer Teilnutzen [Pkt.]
	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]					
Experte1	6	3,000	0,167	0,50	9	4,500	0,143	0,64	9	4,500	0,214	0,96	6	3,000	0,095	0,29	7	3,500	0,143	0,50	9	4,500	0,024	0,11	8	4,000	0,214	0,86	
Experte2	6	3,000	0,048	0,14	6	3,000	0,238	0,71	6	3,000	0,167	0,50	5	2,500	0,119	0,30	6	3,000	0,190	0,57	7	3,500	0,048	0,17	7	3,500	0,190	0,67	
Experte3	5	2,500	0,214	0,54	6	3,000	0,071	0,21	8	4,000	0,143	0,57	10	5,000	0,214	1,07	4	2,000	0,119	0,24	10	5,000	0,119	0,60	4	2,000	0,119	0,24	
Experte4	2	1,000	0,024	0,02	4	2,000	0,262	0,52	5	2,500	0,167	0,42	2	1,000	0,143	0,14	5	2,500	0,214	0,54	3	1,500	0,048	0,07	5	2,500	0,143	0,36	
Experte5	7	3,500	0,143	0,50	7	3,500	0,167	0,58	7	3,500	0,167	0,58	8	4,000	0,119	0,48	8	4,000	0,095	0,38	7	3,500	0,167	0,58	8	4,000	0,143	0,57	
Experte6	8	4,000	0,143	0,57	8	4,000	0,214	0,86	8	4,000	0,167	0,67	8	4,000	0,119	0,48	8	4,000	0,143	0,57	8	4,000	0,143	0,57	8	4,000	0,071	0,29	
Experte7	10	5,000	0,214	1,07	8	4,000	0,286	1,14	9	4,500	0,167	0,75	9	4,500	0,143	0,64	8	4,000	0,048	0,19	8	4,000	0,119	0,48	8	4,000	0,024	0,10	
Experte8	4	2,000	0,167	0,33	4	2,000	0,262	0,52	5	2,500	0,167	0,42	3	1,500	0,190	0,29	7	3,500	0,095	0,33	0	0,000	0,000	0,00	4	2,000	0,119	0,24	
Experte9	6	3,000	0,167	0,50	6	3,000	0,143	0,43	4	2,000	0,143	0,29	6	3,000	0,143	0,29	6	3,000	0,143	0,43	8	4,000	0,119	0,48	6	3,000	0,143	0,43	
Experte10	6	3,000	0,238	0,71	6	3,000	0,286	0,86	6	3,000	0,190	0,57	4	2,000	0,143	0,29	5	2,500	0,048	0,12	4	2,000	0,095	0,19	0	0,000	0,000	0,00	
Experte11	10	5,000	0,190	0,95	7	3,500	0,190	0,83	9	4,500	0,167	0,75	8	4,000	0,143	0,64	8	4,000	0,119	0,48	8	4,000	0,048	0,19	8	4,000	0,119	0,48	
Experte12	11	5,500	0,048	0,26	13	6,500	0,238	1,55	13	6,500	0,095	0,62	14	7,000	0,048	0,33	12	6,000	0,095	0,57	12	6,000	0,238	1,43	8	4,000	0,238	0,95	
Experte13	10	5,000	0,143	0,71	9	4,500	0,167	0,75	10	5,000	0,262	1,31	8	4,000	0,190	0,76	8	4,000	0,048	0,19	9	4,500	0,143	0,64	4	2,000	0,048	0,10	
Experte14	11	5,500	0,238	1,31	9	4,500	0,143	0,64	10	5,000	0,119	0,60	10	5,000	0,238	1,19	11	5,500	0,214	1,18	10	5,000	0,024	0,12	11	5,500	0,024	0,13	
Experte15	9	4,500	0,167	0,75	11	5,500	0,238	1,31	7	3,500	0,167	0,58	7	3,500	0,190	0,67	9	4,500	0,119	0,54	6	3,000	0,071	0,21	8	4,000	0,048	0,19	
Technischer Gesamtnutzen der Schwächen [Pkt.]: (Summe der effektiven Teilnutzen)																													
56,14																													
Quelle: Eigene Darstellung																													

Tabelle B.29: Ergebnisse der Expertenbefragung zu den wirtschaftlichen Schwächen

	WB1				WB2				WB3				WB4				WB5				WB6				WB7				effektiver wirtschaftlicher Teil-
	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	nutzen [Pkt.]
Experte1	17	4,250	0,167	0,71	19	4,750	0,143	0,68	17	4,250	0,214	0,91	18	4,500	0,095	0,43	19	4,750	0,143	0,68	19	4,750	0,024	0,11	16	4,000	0,214	0,86	4,38
Experte2	16	4,000	0,048	0,19	16	4,000	0,238	0,95	16	4,000	0,167	0,67	11	2,750	0,119	0,33	15	3,750	0,190	0,71	13	3,250	0,048	0,15	16	4,000	0,190	0,76	3,77
Experte3	15	3,750	0,214	0,80	18	4,500	0,071	0,32	20	5,000	0,143	0,71	20	5,000	0,214	1,07	22	5,500	0,119	0,65	12	3,000	0,119	0,36	20	5,000	0,119	0,60	4,52
Experte4	16	4,000	0,024	0,10	14	3,500	0,262	0,92	12	3,000	0,167	0,50	3	0,750	0,143	0,11	14	3,500	0,214	0,75	7	1,750	0,048	0,08	15	3,750	0,143	0,54	2,99
Experte5	16	4,000	0,143	0,57	16	4,000	0,167	0,67	15	3,750	0,167	0,63	13	3,250	0,119	0,39	15	3,750	0,095	0,36	15	3,750	0,167	0,63	16	4,000	0,143	0,57	3,80
Experte6	16	4,000	0,143	0,57	16	4,000	0,214	0,86	16	4,000	0,167	0,67	16	4,000	0,119	0,48	15	3,750	0,143	0,57	16	4,000	0,143	0,57	16	4,000	0,071	0,29	4,00
Experte7	16	4,000	0,214	0,86	16	4,000	0,286	1,14	16	4,000	0,167	0,67	17	4,250	0,143	0,61	16	4,000	0,048	0,19	17	4,250	0,119	0,51	16	4,000	0,024	0,10	4,07
Experte8	11	2,750	0,167	0,46	12	3,000	0,262	0,79	12	3,000	0,167	0,50	9	2,250	0,190	0,43	15	3,750	0,095	0,36	0	0,000	0,000	0,00	16	4,000	0,119	0,48	3,01
Experte9	13	3,250	0,167	0,54	14	3,500	0,143	0,50	14	3,500	0,143	0,50	7	1,750	0,143	0,25	14	3,500	0,143	0,50	12	3,000	0,119	0,36	12	3,000	0,143	0,43	3,08
Experte10	16	4,000	0,238	0,95	15	3,750	0,286	1,07	16	4,000	0,190	0,76	8	2,000	0,143	0,29	17	4,250	0,048	0,20	8	2,000	0,095	0,19	0	0,000	0,000	0,00	3,46
Experte11	21	5,250	0,190	1,00	11	2,750	0,190	0,52	16	4,000	0,167	0,67	23	5,750	0,167	0,96	16	4,000	0,119	0,48	16	4,000	0,048	0,19	16	4,000	0,119	0,48	4,29
Experte12	18	4,500	0,048	0,21	18	4,500	0,238	1,07	18	4,500	0,095	0,43	24	6,000	0,048	0,29	20	5,000	0,095	0,48	18	4,500	0,238	1,07	16	4,000	0,238	0,95	4,50
Experte13	14	3,500	0,143	0,50	14	3,500	0,167	0,58	16	4,000	0,262	1,05	20	5,000	0,190	0,95	16	4,000	0,048	0,19	17	4,250	0,143	0,61	11	2,750	0,048	0,13	4,01
Experte14	16	4,000	0,238	0,95	16	4,000	0,143	0,57	20	5,000	0,119	0,60	23	5,750	0,238	1,37	21	5,250	0,214	1,12	19	4,750	0,024	0,11	17	4,250	0,024	0,10	4,83
Experte15	17	4,250	0,167	0,71	17	4,250	0,238	1,01	15	3,750	0,167	0,62	15	3,750	0,190	0,71	15	3,750	0,119	0,45	12	3,000	0,071	0,21	16	4,000	0,048	0,19	3,91
Wirtschaftlicher Gesamtnutzen der Schwächen [Pkt.]: (Summe der effektiven Teilnutzen)																													58,61

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.33: Ergebnisse der Expertenbefragung zu den wirtschaftlichen Risiken

	WB1				WB2				WB3				WB4				WB5				WB6				WB7				effektiver wirtschaftlicher Teil-
	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	Bewertungspunkte [Pkt.]	normierte Bewertungspunkte (Mittelwert) [Pkt.]	normierter Gewichtungsfaktor [%]	relative Teilnutzenwerte [Pkt.]	effektiver wirtschaftlicher Teil-
Experte1	15	3,000	0,167	0,50	20	4,000	0,143	0,57	23	4,600	0,214	0,99	20	4,000	0,095	0,38	14	2,800	0,143	0,40	23	4,600	0,024	0,11	16	3,200	0,214	0,69	3,63
Experte2	19	3,800	0,048	0,18	19	3,800	0,238	0,90	19	3,800	0,167	0,63	16	3,200	0,119	0,38	21	4,200	0,190	0,80	18	3,600	0,048	0,17	19	3,800	0,190	0,72	3,80
Experte3	23	4,600	0,214	0,99	15	3,000	0,071	0,21	16	3,200	0,143	0,46	17	3,400	0,214	0,73	17	3,400	0,119	0,40	20	4,000	0,119	0,48	23	4,600	0,119	0,55	3,81
Experte4	18	3,600	0,024	0,09	18	3,600	0,262	0,94	16	3,200	0,167	0,53	12	2,400	0,143	0,34	9	1,800	0,214	0,39	8	1,600	0,048	0,08	10	2,000	0,143	0,29	2,65
Experte5	19	3,800	0,143	0,54	19	3,800	0,167	0,63	19	3,800	0,167	0,63	19	3,800	0,119	0,45	19	3,800	0,095	0,36	18	3,600	0,167	0,60	19	3,800	0,143	0,54	3,77
Experte6	20	4,000	0,143	0,57	20	4,000	0,214	0,86	20	4,000	0,167	0,67	20	4,000	0,119	0,48	20	4,000	0,143	0,57	20	4,000	0,143	0,57	20	4,000	0,071	0,29	4,00
Experte7	22	4,400	0,214	0,94	20	4,000	0,286	1,14	22	4,400	0,167	0,73	22	4,400	0,143	0,63	22	4,400	0,048	0,21	21	4,200	0,119	0,50	20	4,000	0,024	0,10	4,25
Experte8	18	3,600	0,167	0,60	13	2,600	0,262	0,68	17	3,400	0,167	0,57	14	2,800	0,190	0,53	16	3,200	0,095	0,30	0	0,000	0,000	0,00	17	3,400	0,119	0,40	3,09
Experte9	18	3,600	0,167	0,60	11	2,200	0,143	0,31	14	2,800	0,143	0,40	12	2,400	0,143	0,34	15	3,000	0,143	0,43	14	2,800	0,119	0,33	10	2,000	0,143	0,29	2,70
Experte10	20	4,000	0,238	0,95	20	4,000	0,286	1,14	16	3,200	0,190	0,61	12	2,400	0,143	0,34	18	3,600	0,048	0,17	16	3,200	0,095	0,30	0	0,000	0,000	0,00	3,52
Experte11	25	5,000	0,190	0,95	27	5,400	0,190	1,03	24	4,800	0,167	0,80	25	5,000	0,167	0,83	25	5,000	0,119	0,60	20	4,000	0,048	0,19	20	4,000	0,119	0,48	4,88
Experte12	26	5,200	0,048	0,25	24	4,800	0,238	1,14	28	5,600	0,095	0,53	28	5,600	0,048	0,27	28	5,600	0,095	0,53	26	5,200	0,238	1,24	24	4,800	0,238	1,14	5,10
Experte13	17	3,400	0,143	0,49	16	3,200	0,167	0,53	15	3,000	0,262	0,79	14	2,800	0,190	0,53	15	3,000	0,048	0,14	13	2,600	0,143	0,37	12	2,400	0,048	0,11	2,97
Experte14	21	4,200	0,238	1,00	21	4,200	0,143	0,60	23	4,600	0,119	0,55	29	5,800	0,238	1,38	32	6,400	0,214	1,37	28	5,600	0,024	0,13	31	6,200	0,024	0,15	5,18
Experte15	7	1,400	0,167	0,23	13	2,600	0,238	0,62	16	3,200	0,167	0,53	14	2,800	0,190	0,53	14	2,800	0,119	0,33	9	1,800	0,071	0,13	26	5,200	0,048	0,25	2,63
Wirtschaftlicher Gesamtnutzen der Risiken [Pkt.]: (Summe der effektiven Teilnutzen)																													55,99

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.36: Ergebnisse der Gesamtnutzenbestimmung

	Hauptkategorien			
	Stärken [Pkt.]	Chancen [Pkt.]	Schwächen [Pkt.]	Risiken [Pkt.]
Technischer Gesamtnutzen	81,80	76,17	56,14	53,47
Wirtschaftlicher Gesamtnutzen	78,93	73,67	58,61	55,99
Organisatorischer Gesamtnutzen	69,83	79,83	57,37	58,11
Sozialer Gesamtnutzen	71,64	71,40	56,06	50,73

Quelle: Eigene Darstellung

B.5.2 Bestimmung der Erfolgsnutzenwerte

Tabelle B.37: Erfolgsnutzenwert der Stärken und Schwächen

	Hauptkategorien		Erfolgsnutzenwert [Pkt.]
	Stärken [Pkt.]	Schwächen [Pkt.]	
Technischer Gesamtnutzen	81,80	56,14	25,66
Wirtschaftlicher Gesamtnutzen	78,93	58,61	20,32
Organisatorischer Gesamtnutzen	69,83	57,37	12,46
Sozialer Gesamtnutzen	71,64	56,06	15,58

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle B.38: Erfolgsnutzenwert der Chancen und Risiken

	Hauptkategorien		Erfolgsnutzenwert [Pkt.]
	Chancen [Pkt.]	Risiken [Pkt.]	
Technischer Gesamtnutzen	76,17	53,47	22,70
Wirtschaftlicher Gesamtnutzen	73,67	55,99	17,68
Organisatorischer Gesamtnutzen	79,83	58,11	21,72
Sozialer Gesamtnutzen	71,40	50,73	20,67

Quelle: Eigene Darstellung

C Methoden und Daten des Konzeptes

C.1 Status der technischen Einheiten

Tabelle C.1: Ausgewählte technische Einheiten des Beispielunternehmens B

	Kunststoff- spritzguss- anlage I	Kunststoff- spritzguss- anlage II	Beschichtungs- anlage	Bearbeitungs- zentrum
<i>Betriebsdaten</i>				
Bezeichnungsnummer	(B.1)	(B.2)	(B.3)	(B.4)
Mittlere Verfügbarkeit [%]	85,0	83,0	88,0	82,0
Automatisierungsgrad (X_{Agrd})	mittel (2)	mittel (2)	hoch (3)	hoch (3)
Verkettungsgrad (Y_{Vgrd})	–	–	hoch (3)	niedrig (1)
Komplexität (Z_{Kplx})	niedrig (1)	niedrig (1)	mittel (2)	hoch (3)
Kenntnisse zum Verschleiß- verhalten	ja	ja	nein	nein
Betriebs- und Hilfsmittel vor- handen	ja	ja	ja	nein
Ersatzteilbevorratung [%]	30 %	30 %	10 %	3 %
Bedeutung (A_{Bdg})	mittel (2)	mittel (2)	hoch (3)	hoch (3)
Redundanz (B_{Rdz})	ja (1)	ja (1)	nein (2)	nein (2)
Maschinenstundensatz der technischen Einheit [€/h]	34,50	28,00	56,00	168,00
<i>Instandhaltungsinformationen</i>				
Stundenverrechnungssatz der Verbundinstandhaltung [€/h]	65,00	65,00	65,00	65,00
Stundenverrechnungssatz der Hersteller [€/h]	92,00	92,00	87,00	108,00
Entfernung der Hersteller [km]	380	380	620	120
Stundenverrechnungssatz der In- standhaltungsdienstleister [€/h]	–	–	–	–
Entfernung der Instandhaltungs- dienstleister [km]	–	–	–	–

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.2: Ausgewählte technische Einheiten des Beispielunternehmens C

	Bearbeitungs- zentrum	Fertigungs- maschine I	Fertigungs- maschine II	Presse
Betriebsdaten				
Bezeichnungsnummer	(C.1)	(C.2)	(C.3)	(C.4)
Mittlere Verfügbarkeit [%]	81,0	81,0	72,0	93,0
Automatisierungsgrad (X_{Agrd})	hoch (3)	mittel (2)	mittel (2)	–
Verkettungsgrad (Y_{Vgrd})	mittel (2)	–	–	–
Komplexität (Z_{Kplx})	hoch (3)	mittel (2)	mittel (2)	niedrig (1)
Kenntnisse zum Verschleiß- verhalten	nein	nein	nein	ja
Betriebs- und Hilfsmittel vor- handen	nein	ja	nein	ja
Ersatzteilbevorratung [%]	5 %	10 %	15 %	3 %
Bedeutung (A_{Bdg})	hoch (3)	mittel (2)	mittel (2)	niedrig (1)
Redundanz (B_{Rdz})	nein (2)	ja (1)	ja (1)	nein (2)
Maschinenstundensatz der technischen Einheit [€/h]	145,00	36,00	39,50	8,00
Instandhaltungsinformationen				
Stundenverrechnungssatz der Verbundinstandhaltung [€/h]	65,00	65,00	65,00	65,00
Stundenverrechnungssatz der Hersteller [€/h]	98,00	92,00	88,00	68,00
Entfernung der Hersteller [km]	350	420	210	620
Stundenverrechnungssatz der In- standhaltungsdienstleister [€/h]	–	76,00	–	76,00
Entfernung der Instandhaltungs- dienstleister [km]	–	60	–	60

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.3: Ausgewählte technische Einheiten des Beispielunternehmens D

	Hochregal- system	Unstetig- förder I	Unstetig- förder II	Verpackungs- anlage
<i>Betriebsdaten</i>				
Bezeichnungsnummer	(D.1)	(D.2)	(D.3)	(D.4)
Mittlere Verfügbarkeit [%]	88,0	92,0	90,0	88,0
Automatisierungsgrad (X_{Agrad})	hoch (3)	niedrig (1)	niedrig (1)	niedrig (1)
Verkettungsgrad (Y_{Vgrad})	mittel (2)	–	–	hoch (3)
Komplexität (Z_{Kplx})	hoch (3)	niedrig (1)	niedrig (1)	mittel (2)
Kenntnisse zum Verschleiß- verhalten	nein	nein	nein	nein
Betriebs- und Hilfsmittel vor- handen	nein	nein	nein	nein
Ersatzteilbevorratung [%]	–	20 %	20 %	5 %
Bedeutung (A_{Bdg})	hoch (3)	mittel (2)	mittel (2)	hoch (3)
Redundanz (B_{Rdz})	nein (2)	ja (1)	ja (1)	nein (2)
Maschinenstundensatz der technischen Einheit [€/h]	95,00	12,00	12,00	9,50
<i>Instandhaltungsinformationen</i>				
Stundenverrechnungssatz der Verbundinstandhaltung [€/h]	65,00	65,00	65,00	65,00
Stundenverrechnungssatz der Hersteller [€/h]	94,00	76,00	72,00	80,00
Entfernung der Hersteller [km]	540	120	370	290
Stundenverrechnungssatz der In- standhaltungsdienstleister [€/h]	78,00	–	–	72,50
Entfernung der Instandhaltungs- dienstleister [km]	60	–	–	50

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.4: Ausgewählte technische Einheiten des Beispielunternehmens E

	Abkant- presse	Wasserstrahl- schneidanlage	Blechbearbei- tungszentrum	Laserstrahl- Schweißanlage
Betriebsdaten				
Bezeichnungsnummer	(E.1)	(E.2)	(E.3)	(E.4)
Mittlere Verfügbarkeit [%]	88,0	87,0	80,0	83,0
Automatisierungsgrad (X_{Agrd})	niedrig (1)	mittel (2)	hoch (3)	hoch (3)
Verkettungsgrad (Y_{Vgrd})	–	–	niedrig (1)	mittel (2)
Komplexität (Z_{Kplx})	niedrig (1)	mittel (2)	hoch (3)	hoch (3)
Kenntnisse zum Verschleiß- verhalten	nein	nein	ja	ja
Betriebs- und Hilfsmittel vor- handen	nein	nein	nein	nein
Ersatzteilbevorratung [%]	–	5 %	5 %	10 %
Bedeutung (A_{Bdg})	mittel (2)	mittel (2)	hoch (3)	hoch (3)
Redundanz (B_{Rdz})	nein (2)	nein (2)	nein (2)	nein (2)
Maschinenstundensatz der technischen Einheit [€/h]	13,50	76,00	156,00	135,00
Instandhaltungsinformationen				
Stundenverrechnungssatz der Verbundinstandhaltung [€/h]	65,00	65,00	65,00	65,00
Stundenverrechnungssatz der Hersteller [€/h]	110,00	93,00	110,00	110,00
Entfernung der Hersteller [km]	370	140	370	370
Stundenverrechnungssatz der In- standhaltungsdienstleister [€/h]	78,00	–	–	–
Entfernung der Instandhaltungs- dienstleister [km]	60	–	–	–

Quelle: Eigene Darstellung

C.2 Technologie- und Instandhaltungskennzahlen

Tabelle C.5: Technologie- und Instandhaltungskennzahlen des Unternehmens B

	Automatisierungs- grad (X_{Agrd})	Verkettungsgrad (Y_{Vgrd})	Komplexität (Z_{Kplx})	Technologie- und Instandhaltungs- kennzahl (T_{IH_k})	Notwendiges Qualifikationsniveau des Instandhaltungspersonals		
					niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)
<i>Technische Einheiten</i>							
Kunststoffspritz- gussanlage I	2	0	1	1,00		○	
Kunststoffspritz- gussanlage II	2	0	1	1,00		○	
Beschichtungs- anlage	3	3	2	2,67			○
Bearbeitungs- zentrum	3	1	3	2,33			○

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.6: Technologie- und Instandhaltungskennzahlen des Unternehmens C

	Automatisierungs- grad (X_{Agrd})	Verkettungsgrad (Y_{Vgrd})	Komplexität (Z_{Kplx})	Technologie- und Instandhaltungs- kennzahl (T_{IH_k})	Notwendiges Qualifikationsniveau des Instandhaltungspersonals		
					niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)
					<i>Technische Einheiten</i>		
Bearbeitungs- zentrum	3	2	3	2,67			○
Fertigungs- maschine I	2	0	2	1,33		○	
Fertigungs- maschine II	3	0	2	1,33		○	
Presse	0	0	1	0,33	○		

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.7: Technologie- und Instandhaltungskennzahlen des Unternehmens D

	Automatisierungs- grad (X_{Agrad})	Verkettungsgrad (Y_{Vgrad})	Komplexität (Z_{Kplx})	Technologie- und Instandhaltungs- kennzahl (T_{IH_k})	Notwendiges Qualifikationsniveau des Instandhaltungspersonals		
					niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)
<i>Technische Einheiten</i>							
Hochregal- system	3	2	3	2,67			○
Unstetig- förderer I	1	0	1	0,67	○		
Unstetig- förderer II	1	0	1	0,67	○		
Verpackungs- anlage	1	3	2	2,00			○

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.8: Technologie- und Instandhaltungskennzahlen des Unternehmens E

	Automatisierungs- grad (X_{Agrad})	Verkettungsgrad (Y_{Vgrad})	Komplexität (Z_{Kplx})	Technologie- und Instandhaltungs- kennzahl (T_{IH_k})	Notwendiges Qualifikationsniveau des Instandhaltungspersonals		
					niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)
<i>Technische Einheiten</i>							
Abkantpresse	1	0	3	0,67	○		
Wasserstrahl- schneidanlage	2	0	2	1,33		○	
Blechbearbei- tungszentrum	3	1	3	2,33			○
Laserstrahl- Schweißanlage	3	2	3	2,67			○

Quelle: Eigene Darstellung

C.3 Berechnung der Fallbeispiele

In Abbildung C.1 ist die zeitliche Abfolge des Fallbeispiels 1 (1.1 bis 1.3) dargestellt.

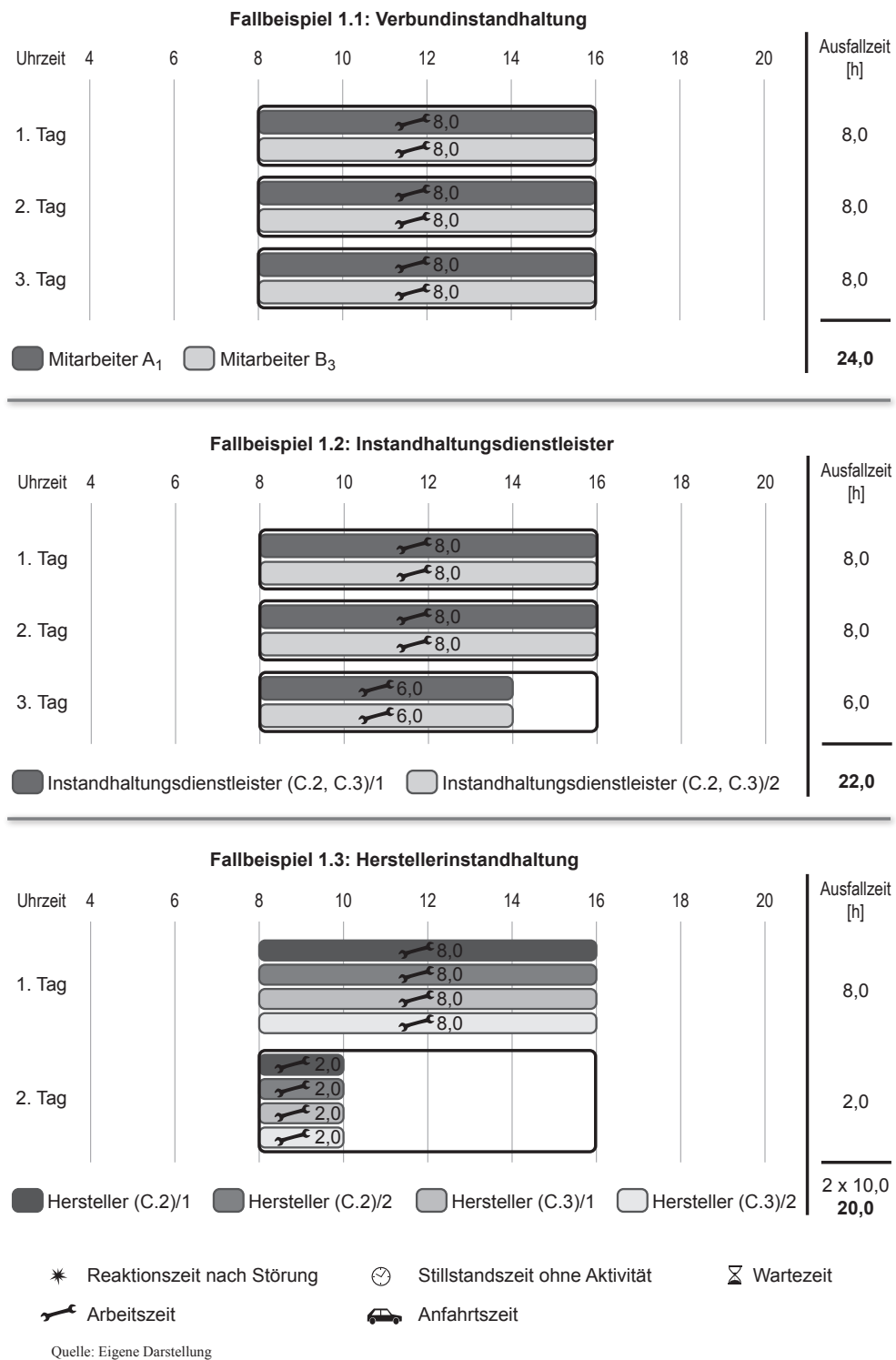


Abbildung C.1: Zeitliche Abfolge des Fallbeispiels 1 (1.1 bis 1.3)

Tabelle C.9: Fallbeispiel 1.1 – Verbundinstandhaltung

Anreise	Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Arbeitszeit [h]	Stundenverrechnungssatz [€]	Ergebnis [€]	
							Fertigungs- maschine I	Fertigungs- maschine II
Mitarbeiter A ₁	15,5	45	0,34	100 %	24,0	65,00	33,15	33,15
Mitarbeiter B ₃	15,0	45	0,33	100 %	23,5	65,00	32,18	32,18
Mehrfachanreisen				3			65,33	65,33
								130,65
Arbeitszeit			Verrechnungsfaktor für Arbeitszeit** [%]	Arbeitszeit [h]	Stundenverrechnungssatz [€]			
						Fertigungs- maschine I	Fertigungs- maschine II	Summe
Mitarbeiter A ₁			80 %	24,0	65,00	780,00	780,00	1.560,00
Mitarbeiter B ₃			85 %	23,5	65,00	763,75	763,75	1.527,50
						1.543,75	1.543,75	3.087,50
Abreise	Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Arbeitszeit [h]	Stundenverrechnungssatz [€]		
							Fertigungs- maschine I	Fertigungs- maschine II
Mitarbeiter A ₁	15,5	45	0,34	100 %	24,0	65,00	33,15	33,15
Mitarbeiter B ₃	15,0	45	0,33	100 %	23,5	65,00	32,18	32,18
Mehrfachabreisen				3			65,33	65,33
								130,65
Ausfallzeit	Schichtbetrieb		Reaktionszeit der Verbund- instandhaltung [h]	Ausfallzeit [h]	Maschinenstundenatz [€]			
						Fertigungs- maschine I	Fertigungs- maschine II	Summe
Fertigungsmaschine I	1		-	24,0	36,00	864,00	864,00	864,00
Fertigungsmaschine II	1		-	24,0	39,50	948,00	948,00	948,00
						864,00	948,00	1.812,00
* Verrechnungsfaktor für die Reisekosten in Bezug auf den Stundenverrechnungssatz der Arbeitszeit						Summe der indirekten Instandhaltungskosten:		
** Verrechnungsfaktor für die Arbeitszeit in Bezug auf das Qualifikationsniveau der Herstellerinstandhaltung						864,00	948,00	1.812,00
						2.538,40	2.622,40	5.160,80

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.10: Fallbeispiel 1.2 – Instandhaltungsdienstleister

Kostenkalkulation						
Anreise	Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Ergebnis [€]	
					Fertigungs- maschine I	Summe
Instandhaltungsdienstleister (C.2, C.3)/1	60	70	0,86	70 %	68,83	137,26
Instandhaltungsdienstleister (C.2, C.3)/2	60	70	0,86	70 %	68,83	137,26
Mehrfachanreisen				3		
					137,26	274,52
Arbeitszeit						
				Verrechnungsfaktor für Arbeitszeit** [%]		
Instandhaltungsdienstleister (C.2, C.3)/1			90 %	Arbeitszeit [h]	836,00	1.672,00
Instandhaltungsdienstleister (C.2, C.3)/2			90 %	22,0	836,00	1.672,00
				22,0		
					1.672,00	3.344,00
Abreise						
				Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]		
Instandhaltungsdienstleister (C.2, C.3)/1	60	70	0,86	70 %	68,83	137,26
Instandhaltungsdienstleister (C.2, C.3)/2	60	70	0,86	70 %	68,83	137,26
Mehrfachabreisen				3		
					137,26	274,52
				Summe der direkten Instandhaltungskosten:	1.946,52	3.893,04
Ausfallzeit						
				Ausfallzeit [h]		
	Schichtbetrieb		Reaktionszeit der Instandhaltungsdienstleister [h]			
Fertigungsmaschine I	1		-			
Fertigungsmaschine II	1		-			
					792,00	792,00
					869,00	869,00
					792,00	1.661,00
* Verrechnungsfaktor für die Reisekosten in Bezug auf den Stundenverrechnungssatz der Arbeitszeit						
** Verrechnungsfaktor für die Arbeitszeit in Bezug auf das Qualifikationsniveau der Herstellerinstandhaltung						
Summe der indirekten Instandhaltungskosten:						
Gesamtkosten der geplanten Instandhaltung:					2.738,52	5.554,04
Quelle: Eigene Darstellung						

In Abbildung C.2 ist die zeitliche Abfolge des Fallbeispiels 2 (2.1 bis 2.3) dargestellt.

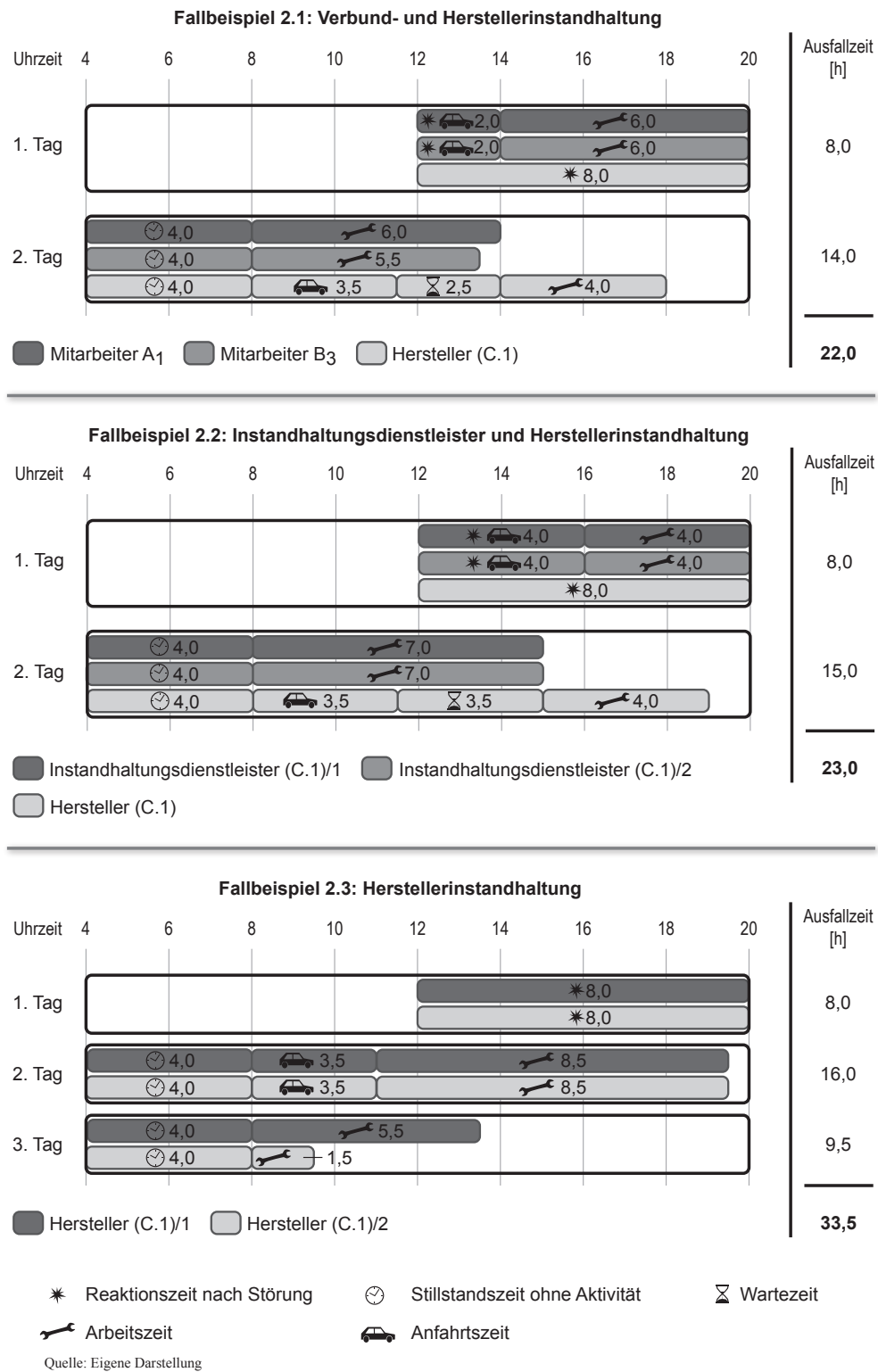


Abbildung C.2: Zeitliche Abfolge des Fallbeispiels 2 (2.1 bis 2.3)

Tabelle C.13: Fallbeispiel 2.2 – Instandhaltungsdienstleister und Herstellerinstandhaltung

						Ergebnis[€]		
Anreise								
Instandhaltungsdienstleister (C.1)/1	Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Stundenverrechnungssatz [€]	91,50		
Instandhaltungsdienstleister (C.1)/2	60	70	0,86	70 %	76,00			
Mehrfachanreisen	60	70	0,86	70 %	76,00	91,50		
				2				
Hersteller (C.1)	350	100	3,5	70 %	98,00	240,10		
						423,11		
Arbeitszeit								
Instandhaltungsdienstleister (C.1)/1	Verrechnungsfaktor für Arbeitszeit** [%]			Arbeitszeit [h]	Stundenverrechnungssatz [€]	836,00		
Instandhaltungsdienstleister (C.1)/2	90 %			11,0	76,00			
	90 %			11,0	76,00	836,00		
Hersteller (C.1)	100 %			7,5	98,00	735,00		
				inkl. 3,5 h Wartezeit				
						2.407,00		
Abreise								
Instandhaltungsdienstleister (C.1)/1	Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Stundenverrechnungssatz [€]	91,50		
Instandhaltungsdienstleister (C.1)/2	60	70	0,86	70 %	76,00			
Mehrfachabreisen	60	70	0,86	70 %	76,00	91,50		
				2				
Hersteller (C.1)	350	100	3,5	70 %	98,00	240,10		
						423,11		
Summe der direkten Instandhaltungskosten:						3.253,22		
Schichtbetrieb	Reaktionszeit der Instandhaltungsdienstleister [h]	Reaktionszeit der Herstellerinstandhaltung [h]	Ausfallzeit [h]	Maschinenstundensatz [€]				
	2	4,0	8,0	23,0		3.395,00		
Bearbeitungszentrum				145,00		3.395,00		
						3.335,00		
* Verrechnungsfaktor für die Reisekosten in Bezug auf den Stundenverrechnungssatz der Arbeitszeit								
** Verrechnungsfaktor für die Arbeitszeit in Bezug auf das Qualifikationsniveau der Herstellerinstandhaltung								
Summe der indirekten Instandhaltungskosten:						3.335,00		
Gesamtkosten der ungeplanten Instandhaltung:						6.588,22		
Quelle: Eigene Darstellung								

Tabelle C.14: Fallbeispiel 2.3 – Herstellerinstandhaltung

						Ergebnis [€]
Anreise						
	Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Stundenverrechnungssatz [€]	
Hersteller (C.1)/1	350	100	3,5	70 %	98,00	240,10
Hersteller (C.1)/2	350	100	3,5	70 %	98,00	240,10
						480,20
Arbeitszeit						
	Verrechnungsfaktor für Arbeitszeit** [%]		Arbeitszeit [h]	Stundenverrechnungssatz [€]		
Hersteller (C.1)/1	100 %		14,0	98,00		1.372,00
Hersteller (C.1)/2	100 %		10,0	98,00		980,00
						2.352,00
Abreise						
	Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Stundenverrechnungssatz [€]	
Hersteller (C.1)/1	350	100	3,5	70 %	98,00	240,10
Hersteller (C.1)/2	350	100	3,5	70 %	98,00	240,10
Übernachtung			2		Übernachtungskosten [€]	140,00
						620,20
Summe der direkten Instandhaltungskosten:						3.452,40
	Schichtbetrieb	Reaktionszeit der Herstellerinstandhaltung [h]	Ausfallzeit [h]	Maschinenstundensatz [€]		
Bearbeitungszentrum	2	8,0	33,5	145,00		4.857,50
						4.857,50
* Verrechnungsfaktor für die Reisekosten in Bezug auf den Stundenverrechnungssatz der Arbeitszeit						
** Verrechnungsfaktor für die Arbeitszeit in Bezug auf das Qualifikationsniveau der Herstellerinstandhaltung						
Summe der indirekten Instandhaltungskosten:						4.857,50
Gesamtkosten der ungeplanten Instandhaltung:						8.309,90

Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung C.3 ist die zeitliche Abfolge des Fallbeispiels 3 (3.1 bis 3.3) dargestellt.

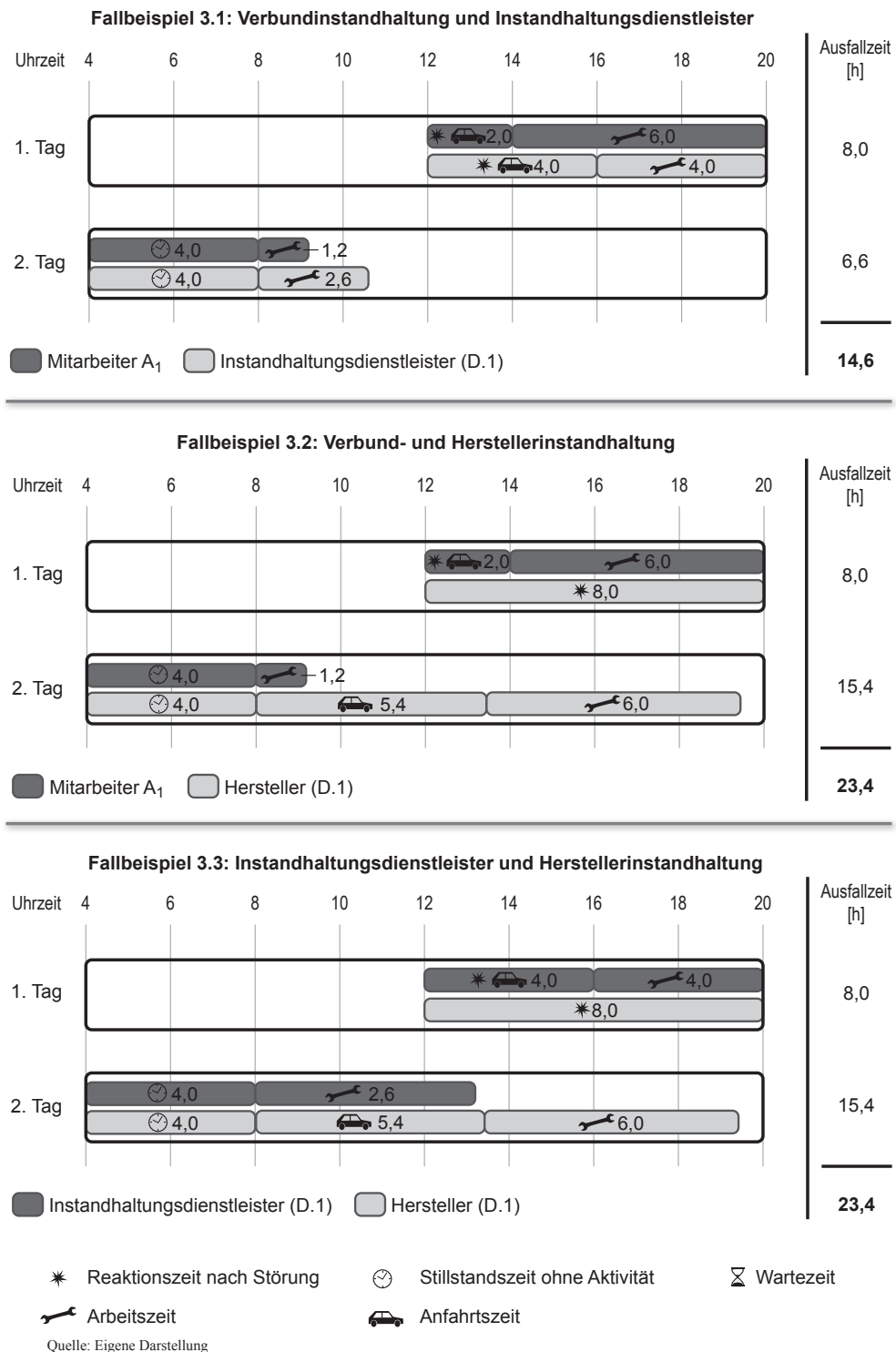


Abbildung C.3: Zeitliche Abfolge des Fallbeispiels 3 (3.1 bis 3.3)

Tabelle C.16: Fallbeispiel 3.2 – Verbundinstandhaltung und Herstellerinstandhaltung

						Ergebnis [€]
Anreise	Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Stundenverrechnungssatz [€]	
Mitarbeiter A ₁ Mehrfachanreisen	10,5	45	0,23	100 % 2	65,00	29,90
Hersteller (D.1)	540	100	5,4	70 %	94,00	355,32
						385,22
Arbeitszeit			Verrechnungsfaktor für Arbeitszeit** [%]	Arbeitszeit [h]	Stundenverrechnungssatz [€]	
Mitarbeiter A ₁			80 %	7,2	65,00	468,00
Hersteller (D.1)			100 %	6,0	94,00	564,00
						1.032,00
Abreise	Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Stundenverrechnungssatz [€]	
Mitarbeiter A ₁ Mehrfachabreisen	10,5	45	0,23	100 % 2	65,00	29,90
Hersteller (D.1)	540	100	5,4	70 %	94,00	355,32
						1.802,44
Summe der direkten Instandhaltungskosten:						1.802,44
Ausfallzeit	Schichtbetrieb	Reaktionszeit der Verbund- instandhaltung [h]	Reaktionszeit der Hersteller- instandhaltung [h]	Ausfallzeit [h]	Maschinenstundenatz [€]	
Hochregalsystem	2	2,0	8,0	23,4	95,00	2.223,00
						2.223,00
* Verrechnungsfaktor für die Reisekosten in Bezug auf den Stundenverrechnungssatz der Arbeitszeit						2.223,00
** Verrechnungsfaktor für die Arbeitszeit in Bezug auf das Qualifikationsniveau der Herstellerinstandhaltung						4.025,44
Summe der indirekten Instandhaltungskosten:						4.025,44
Gesamtkosten der ungeplanten Instandhaltung:						
Quelle: Eigene Darstellung						

In Abbildung C.4 ist die zeitliche Abfolge des Fallbeispiels 3 (3.4 bis 3.6) dargestellt.

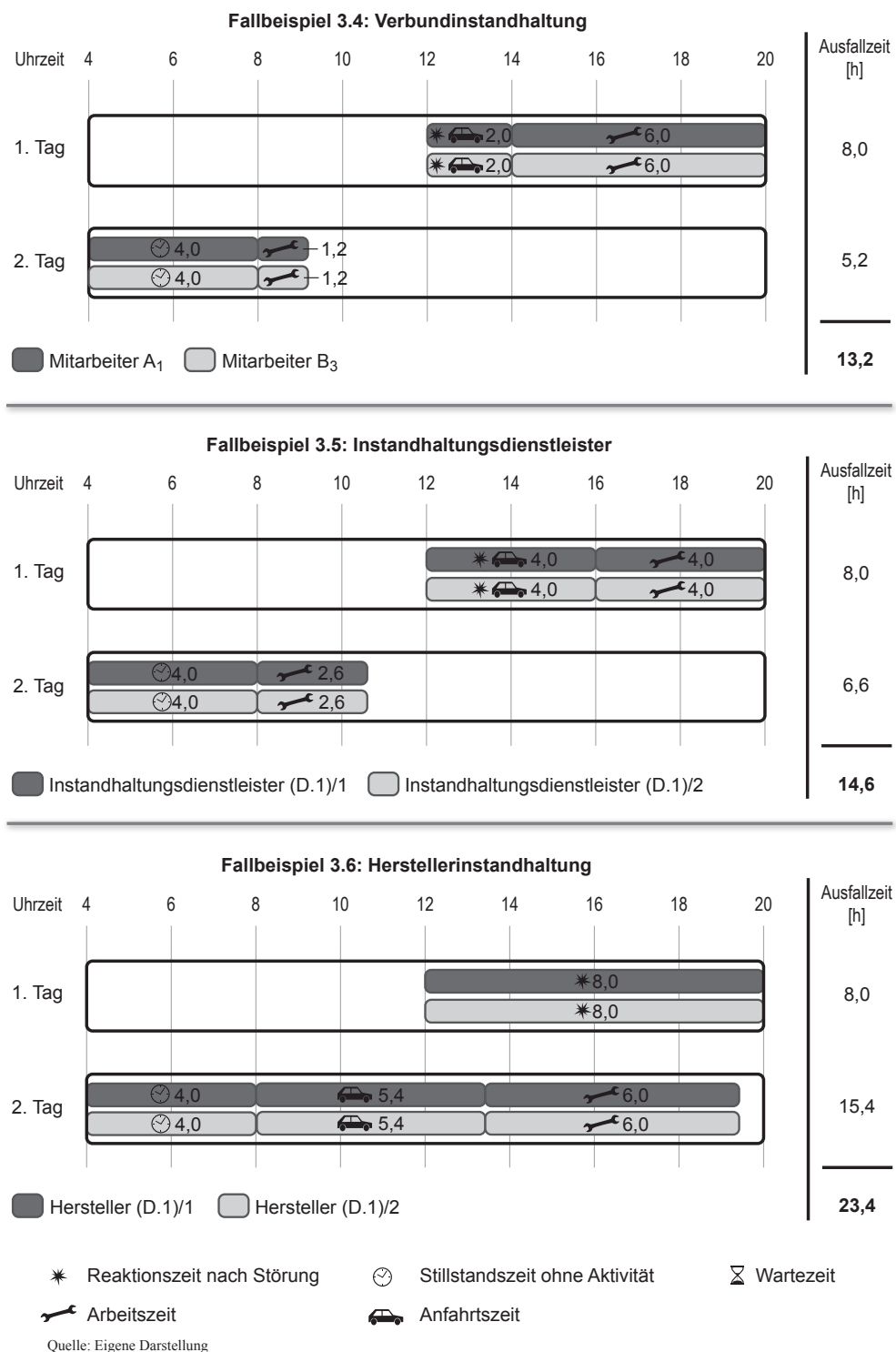


Abbildung C.4: Zeitliche Abfolge des Fallbeispiels 3 (3.4 bis 3.6)

Tabelle C.19: Fallbeispiel 3.5 – Instandhaltungsdienstleister

Anreise	Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Stundenverrechnungssatz [€]	Ergebnis[€]
Instandhaltungsdienstleister (D.1)/1	60	70	0,86	70 %	78,00	93,91
Instandhaltungsdienstleister (D.1)/2	60	70	0,86	70 %	78,00	93,91
Mehrfachanreisen				2		
						187,82
Arbeitszeit						
Instandhaltungsdienstleister (D.1)/1			90 %	6,6	78,00	514,80
Instandhaltungsdienstleister (D.1)/2			90 %	6,6	78,00	514,80
						1.029,60
Abreise						
Instandhaltungsdienstleister (D.1)/1	Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Stundenverrechnungssatz [€]	93,91
	60	70	0,86	70 %	78,00	93,91
Instandhaltungsdienstleister (D.1)/2	60	70	0,86	70 %	78,00	93,91
Mehrfachabreisen				2		
						187,82
						1.405,25
Ausfallzeit						
	Schichtbetrieb	Reaktionszeit der Instandhaltungs- dienstleister [h]	Ausfallzeit [h]		Maschinenstundenatz [€]	
Hochregalsystem	2	4,0	14,6		95,00	1.387,00
						1.387,00
						1.387,00
						2.792,25

* Verrechnungsfaktor für die Reisekosten in Bezug auf den Stundenverrechnungssatz der Arbeitszeit
 ** Verrechnungsfaktor für die Arbeitszeit in Bezug auf das Qualifikationsniveau der Herstellerinstandhaltung

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.20: Fallbeispiel 3.6 – Herstellerinstandhaltung

						Ergebnis [€]	
Anreise		Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Stundenverrechnungssatz [€]	
Hersteller (D.1)/1							
Hersteller (D.1)/2		540	100	5,4	70 %	94,00	
		540	100	5,4	70 %	94,00	
						355,32	
						355,32	
						710,64	
Arbeitszeit		Verrechnungsfaktor für Arbeitszeit** [%]			Arbeitszeit [h]	Stundenverrechnungssatz [€]	
Hersteller (D.1)/1		100 %					
Hersteller (D.1)/2		100 %			6,0	94,00	
					6,0	94,00	
						564,00	
						564,00	
						1.128,00	
Abreise		Entfernung [km]	Reisegeschwindigkeit [km/h]	Reisezeit [h]	Verrechnungsfaktor für Reisezeit* [%]	Stundenverrechnungssatz [€]	
Hersteller (D.1)/1							
Hersteller (D.1)/2		540	100	5,4	70 %	94,00	
		540	100	5,4	70 %	94,00	
						355,32	
						355,32	
						710,64	
Ausfallzeit		Summe der direkten Instandhaltungskosten:					
Hochregalsystem		Schichtbetrieb	Reaktionszeit der Herstellerinstandhaltung [h]		Ausfallzeit [h]	Maschinenstundenansatz [€]	
		2	8,0		23,4	95,00	
						2.223,00	
						2.223,00	
		Summe der indirekten Instandhaltungskosten:			2.223,00		
		Gesamtkosten der ungeplanten Instandhaltung:			4.772,28		

* Verrechnungsfaktor für die Reisekosten in Bezug auf den Stundenverrechnungssatz der Arbeitszeit

** Verrechnungsfaktor für die Arbeitszeit in Bezug auf das Qualifikationsniveau der Herstellerinstandhaltung

Quelle: Eigene Darstellung

C.4 Leistungsfähigkeit des Konzeptes

C.4.1 Simulation

Die **Simulation**¹ ist ein bedeutsames Instrumentarium, mit dem *reale Vorgänge* zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung imitiert werden [vgl. Kramer u. a., 2002, S. 981]. Die Simulation ist definiert als ein „*Verfahren zur Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind*“ [VDI 3633, 1996, S. 14].

Zur Schaffung einer einheitlichen Verständnisgrundlage werden folgende Begriffe erläutert [nach VDI 3633, 1996, S. 6-17], [vgl. Kramer u. Neculau, 1998, S. 11-14]:

Prozess: In der Simulationstechnik versteht man unter einem *Prozess* die Gesamtheit aller aufeinander einwirkenden Vorgänge in einem System, die *zeitlich-räumlichen Veränderungen unterworfen sind* und durch die Materie, Energie und Informationen umgeformt, transportiert oder auch gespeichert werden.

System: Ein *System* ist die gedankliche Abgrenzung von realen Gegebenheiten (beispielsweise Komponenten), die miteinander in Beziehung stehen und durch Systemgrenzen, Systemein- und -ausgangsgrößen, Subsysteme sowie Systemelemente charakterisiert sind. Der Zusammenhang dieser Größen kennzeichnet die Struktur des Systems.

Modell: Die Nachbildung eines realen oder geplanten Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System stellt ein *Modell* dar. Dabei ist das Modell so abstrakt wie möglich, aber so realitätsnah wie nötig und unterscheidet sich bezüglich der untersuchungsrelevanten Gesichtspunkten innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild.

Experiment: In der Simulationstechnik versteht man unter einem *Experiment* eine gezielte Untersuchung des Verhaltens eines Modells innerhalb eines bestimmten Zeitraums, wobei wiederholt Simulationsdurchläufe mit systematischen Parametervariationen erfolgen.

Die **Einsatzmöglichkeiten der Simulation**, genauer gesagt der computerunterstützten Simulation, waren in der Vergangenheit weitgehend auf die Forschung und Wissenschaft begrenzt. Inzwischen findet sie aber in vielen industriell-wirtschaftlichen Bereichen ihre Anwendung. Häufig sind Problemstellungen von so hoher Komplexität, dass sie weder durch Optimierungsmodelle abgebildet noch mit mathematisch-analytischen Methoden exakt gelöst werden können. Die mathematisch-analytischen Methoden stoßen bei der Untersuchung von komplexen Systemen oder Prozessen mit vielen Einflussgrößen häufig an ihre Grenzen. Es wird daher zu heuristischen² Verfahren übergegangen, die durch systematisches Probieren und modellorientiertes Experimentieren eine weitgehende bzw. abschätzbar gute Annäherung an optimale Lösungen ermöglichen [vgl. Küll u. Stähly, 1999, S. 1-2].

Durch die Simulation lassen sich sehr komplexe Zusammenhänge untersuchen und beurteilen [vgl. Küll u. Stähly, 1999, S. 1-2], die möglicherweise als Versuch am realen System zu zeit- oder kostenintensiv wären. Ebenso lassen sich Untersuchungen durchführen, wenn es das zu analysierende System noch nicht gibt oder es in wesentlichen Teilaspekten so neu ist, dass das bereits vorhandene Erfahrungswissen keine ausreichende Basis für Rückschlüsse darstellt. Dabei ist es möglich, ein Si-

¹ *Simulation* – von lat. *simulare* – dt. nachbilden, nachahmen, vortäuschen; hier: Als Simulation wird im weiteren Sinne das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten von gezielten Experimenten mit Hilfe eines Simulationsmodells verstanden [vgl. VDI 3633, 2010, S. 3].

² *Heuristik* – *heuristisch* – von griech. *heuriskein* – dt. (auf-) finden, entdecken; hier: Unter Heuristik versteht man Vorgehensweisen zur Ermittlung zulässiger Lösungen von Optimierungsmodellen, mit deren Hilfe man reale Entscheidungsprobleme abbilden kann. Sie gehen nach bestimmten Regeln zur Lösungsfindung oder -verbesserung vor, die die vorliegende Modellstruktur auf Erfolg versprechende Weise ausnutzen [nach Domschke u. Scholl, 2006, S. 2].

mulationsmodell auch noch im Nachhinein um zusätzliche Faktoren zu ergänzen, falls diese Faktoren im Vorfeld nicht bekannt waren oder sich erst im Verlauf der Untersuchungen ergeben haben. Weiterhin können Untersuchungen vorgenommen werden, die außerhalb der Simulation nicht möglich wären oder eine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen würden.

Einige Einsatzgebiete der Simulation werden im Folgenden genannt [nach Hrdliczka u. a., 1996, S. 4]:

- Naturwissenschaftliche Simulationen
- Umweltsimulationen
- Fahr- und Flugsimulationen
- Verkehrssimulationen
- Simulationen von Geschäftsprozessen
- Fertigungssimulationen
- Simulationen von Elektronikanwendungen

Das **Vorgehen bei einer Simulation** gliedert sich prinzipiell in drei Phasen [vgl. VDI 3633, 2010, S. 19]. Allerdings sind bei der Bearbeitung der einzelnen Phasen etwaige Rücksprünge und Iterationen aufgrund von fehlerhaften Zwischenergebnissen oder erweiterten Annahmen jederzeit möglich [vgl. Wenzel u. a., 2008, S. 5].

1. Phase: Definition der Simulationsstudie

Zunächst findet eine Identifizierung und Spezifizierung der zugrundeliegenden Problemstellung statt. Dabei wird festgestellt, ob es sich überhaupt um ein simulationswürdiges Problem handelt oder nicht. Dies ist besonders wichtig, denn „... *it's difficult to arrive at the right answer if you are working on the wrong problem*“ [Cook u. Russell, 1985, S. 11]. Entsprechend den Erkenntnissen wird die Zielsetzung der Simulation festgelegt und sukzessive vervollständigt [vgl. Wenzel u. a., 2008, S. 7].

2. Phase: Durchführung der Simulationsstudie

Zu Beginn erfolgt in der Regel eine genaue *Aufgabendefinition*, bei der die Zielsetzung der Simulation zu einer detaillierten *Aufgabenspezifikation* mit der genauen Beschreibung des zu lösenden Problems weiterentwickelt wird [vgl. Wenzel u. a., 2008, S. 115]. Die anschließende *Systemanalyse* dient zur Erstellung eines *Konzeptmodells*, um für die spätere *Modellformalisierung* und *Implementierung* die notwendigen Grundlagen zu schaffen. Dazu erfolgt eine Struktur- und Funktionsanalyse des zu modellierenden Systems und eine Festlegung der grundsätzlichen Systemfunktionen mit ihren Wechselwirkungen sowie der Systemgrenzen. Das *formale Modell* entwickelt und formalisiert die im Konzeptmodell beschriebenen Zusammenhänge, die in ein *ausführbares Modell* implementiert werden [vgl. Wenzel u. a., 2008, S. 7]. Gleichzeitig erfolgt die *Datenbeschaffung und -aufbereitung*, die ebenso auf der Aufgabenspezifizierung basiert. Im Anschluss an die Phase der Modellbildung werden die *Experimente* durchgeführt. Meist finden für eine Simulation mehrere Durchläufe mit unterschiedlichen Parametern statt. Danach erfolgt eine *Analyse* der erreichten *Simulationsergebnisse* sowie ein Vergleich mit der zu Beginn formulierten Zielsetzung [vgl. Wenzel u. a., 2008, S. 8, 139-149], [vgl. VDI 3633, 2010, S. 38-39].

Die Ergebnisse werden durch *Verifikation*³ und *Validierung*⁴ auf ihre Eignung, Plausibilität und Vollständigkeit, aber auch auf Richtigkeit hinsichtlich einer späteren Nutzung der Ergebnisse überprüft. Dabei wird gleichzeitig sichergestellt, dass das Modell das Verhalten des realen Systems entsprechend der formulierten Zielsetzung hinreichend genau und ohne Fehler widerspiegelt [vgl. VDI 3633, 1996, S. 18].

³ *Verifikation* – Unter Verifikation wird der „... formale Nachweis der Korrektheit eines Simulationsmodells“ [nach VDI 3633, 1996, S. 19] verstanden.

⁴ *Validierung* – Als Validierung wird die „Überprüfung der hinreichenden Übereinstimmung von Modell und Originalsystem“ [nach VDI 3633, 1996, S. 18] bezeichnet.

3. Phase: *Nachnutzung der Simulationsstudie*

Die erneute Nutzung von Simulationsmodellen nach Abschluss einer Simulationsstudie und die Verwendung von bereits vorhandenen Modellen bzw. Modellteilen ist häufig zweckmäßig und somit von großer Bedeutung.

- Als **Wiederverwendung** von Simulationsmodellen wird eine Nutzung von Modellen oder Modellteilen verstanden, die eine bestimmte Funktionalität eines realen Systems repräsentieren und nur mit einem geringen Anpassungsaufwand zur Untersuchung einer ähnlichen Fragestellung bei einem anderen System genutzt werden können [vgl. Wenzel u. a., 2008, S. 154].
- Die **Weiterverwendung** von Simulationsmodellen bezieht sich in der Regel auf die Verwendung eines Modells in einem anderen Kontext mit neuer Zielsetzung. Ein Simulationsmodell kann beispielsweise weiterverwendet werden, wenn Modellelemente entfernt oder hinzugefügt bzw. Funktionen durch reale Systemkomponenten ersetzt werden [vgl. Wenzel u. a., 2008, S. 154].

Zu beachten sind für eine ordnungsgemäße Modellbildung gewisse **Modellierungsgrundsätze**, um ein gutes Simulationsergebnis zu erhalten [nach Wildner, 2010, S. 46]:

Richtigkeit: Das Simulationsmodell muss die Struktur und das Verhalten des zu simulierenden Systems hinreichend korrekt abbilden.

Relevanz: Es werden nur diejenigen Teile des Systems modelliert, die zur Erfüllung der Simulationaufgabe notwendig sind. Der Detaillierungsgrad der Modellkomponenten ist daher passend zu wählen.

Systematischer Aufbau: Die Modellbildung muss nach nachvollziehbaren konsistenten Grundsätzen erfolgen.

Klarheit: Das Simulationsmodell muss anschaulich sein, sodass schon bei der Modellierung die Gesichtspunkte Strukturiertheit, Übersichtlichkeit und Lesbarkeit berücksichtigt werden.

Vergleichbarkeit: Simulationsmodelle, die mit unterschiedlichen Methoden gebildet wurden, müssen zu denselben Ergebnissen führen.

In Abbildung C.5 ist die Vorgehensweise zur Durchführung einer Simulationsstudie dargestellt.

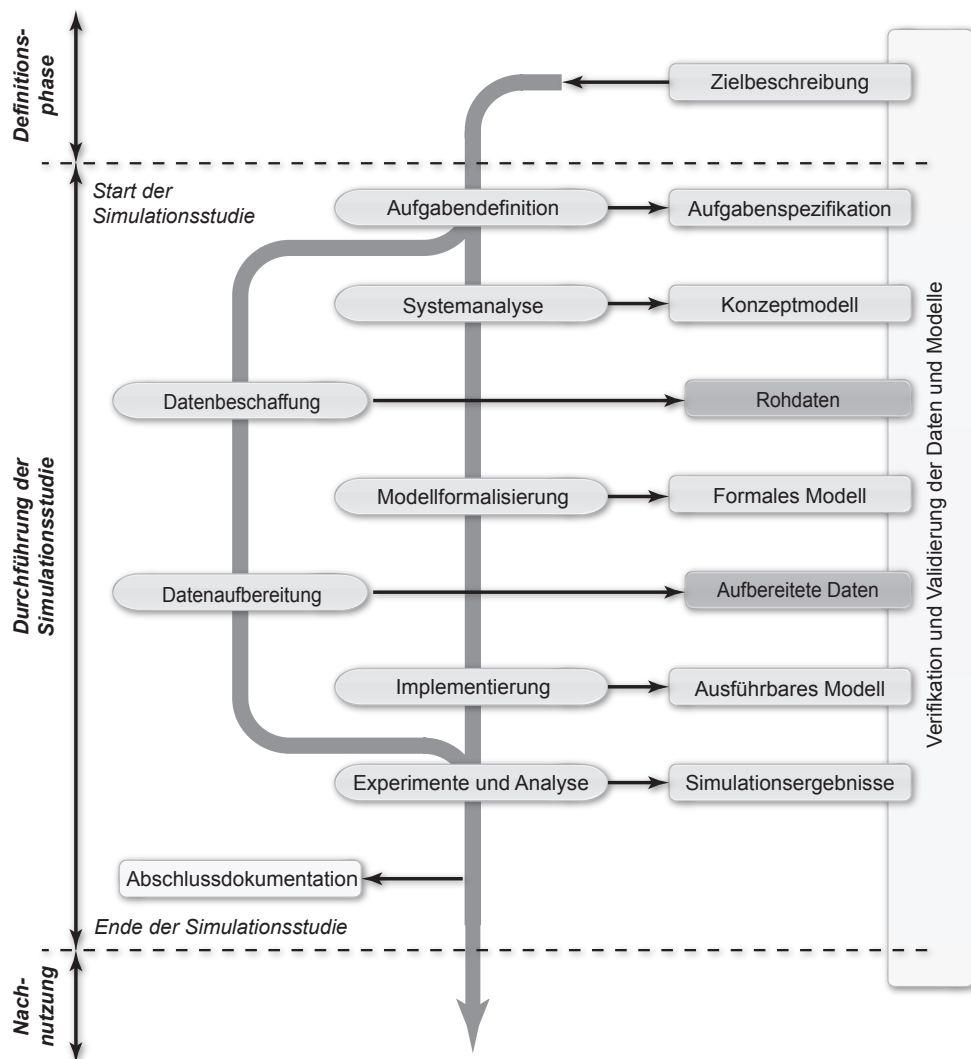
C.4.2 Simulationsprogramm

Zur Simulation wird das Simulationsprogramm Plant SimulationTM in der Version 8.1 der Firma Siemens Industry Software GmbH & Co. KG, Stuttgart-Weilimdorf, verwendet.

Plant SimulationTM ist ein leistungsfähiges und flexibles Simulationswerkzeug, mit dem komplexe, insbesondere dynamische Unternehmens- und Geschäftsprozesse simuliert werden können. Mit diesem Programm ist es möglich, in vorhandenen Prozessen mögliches Rationalisierungspotenzial zu erkennen oder eventuelle Risiken zu reduzieren. Ebenso ist es mit Plant Simulation möglich, neue Prozesse zu entwerfen und deren Durchführbarkeit zu testen. Daneben bietet Plant Simulation eine Reihe von Modellierungsmöglichkeiten zur Verwaltung und Animation von Simulationsmodellen.

Die Simulationssoftware Plant SimulationTM nutzt dabei die objektorientierte⁵ Modellierung, womit sich verschiedenste Unternehmens- und Geschäftsprozesse anhand von „Objekten“ darstellen und ein ablauffähiges Simulationsmodell zusammensetzen lassen. Die Objekte werden dabei anhand struk-

⁵ *Objektorientierung* – Unter Objektorientierung wird ein Ansatz zur Entwicklung von Software verstanden. Dabei beruht der Ansatz darauf, die zu verarbeitenden Daten und Informationen anhand ihrer Eigenschaften sowie der möglichen Operationen zu beschreiben und zu klassifizieren.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Rabe u.a.: 2008, S.5], [VDI 3633 Blatt 1: Dezember 2010, S.19]

Abbildung C.5: Vorgehensweise zur Durchführung einer Simulationsstudie

tureller und verhaltensbezogener Gesichtspunkte beschrieben. Es bietet zudem bestimmte Dienste an, die auch als Methoden oder Operationen bezeichnet werden. Unter Zuhilfenahme von „Klassen“ können Objekte mit ähnlichen Eigenschaften und Diensten beschrieben werden, sodass es möglich wird, mit einer Klasse die gemeinsamen Eigenschaften und Dienste von einer Menge von Objekten einmal zu beschreiben. Zwischen den Klassen können auch „Vererbungsbeziehungen“ bestehen, die gerichtete Beziehungen darstellen. Mit Hilfe einer Vererbungsbeziehung können dadurch untergeordnete Klassen auch sämtliche Struktur- und Verhaltenseigenschaften einer übergeordneten Klasse nutzen [vgl. Wildner, 2010, S. 77-82].

In Bezug auf die Simulation einer horizontalen Instandhaltungskooperation von KMU eignet sich die objektorientierte Modellierung besonders gut. Es lassen sich damit die außerordentlich komplexen und dynamischen Instandhaltungsprozesse beschreiben und mit der Simulationssoftware Plant SimulationTM hinreichend genau simulieren.

Zur Simulation wurde ein handelsüblicher Computer der Firma Fujitsu SiemensTM, Lifebook T 4220, mit dem Betriebssystem WindowsTM XP verwendet.

C.4.3 Modellparameter und Simulationsdaten

Tabelle C.21: Entfernungen zwischen den Beispielunternehmen A bis E

	Unter- nehmen A	Unter- nehmen B	Unter- nehmen C	Unter- nehmen D	Unter- nehmen E
Unternehmen A	–	14,5 km	15,5 km	10,5 km	6,0 km
Unternehmen B	14,5 km	–	15,0 km	4,0 km	13,0 km
Unternehmen C	15,5 km	15,0 km	–	11,0 km	22,5 km
Unternehmen D	10,5 km	4,0 km	11,0 km	–	11,5 km
Unternehmen E	6,0 km	13,0 km	22,5 km	11,5 km	–

Quelle: Eigene Darstellung

C.4.3.1 Modellparameter der technischen Einheiten

Bezeichnungsnummer [Unternehmen.Nummer der technischen Einheit] der einzelnen technischen Einheiten, bezogen auf das jeweilige Betreiberunternehmen A bis E.

Bearbeitungszyklus [min] entspricht der Zeitspanne, nach welcher die technischen Einheiten einen neuen Bearbeitungsauftrag erhalten.

Bearbeitungszeit [min] stellt die Zeitspanne dar, welche die technischen Einheiten zur Bearbeitung eines Auftrages benötigen.

Betriebszeit pro Schicht [h] entspricht der Zeitspanne, welche die technischen Einheiten pro Schicht betrieben werden.

Schichten pro Tag [Stk.] entspricht der Anzahl der Einzelschichten pro Arbeitstag, in denen die technischen Einheiten betrieben werden.

Arbeitstage pro Jahr [d] stellt die Anzahl der Arbeitstage pro Jahr dar, an denen die technischen Einheiten betrieben werden.

Maschinenstundensatz [€/h] entspricht sämtlichen zurechenbaren Kosten der technischen Einheiten pro Betriebsstunde.

Mittlere Verfügbarkeit [%] entspricht dem Mittelwert der Verfügbarkeit während eines gegebenen Zeitintervalls der technischen Einheiten.

Ausfallzeit [h] gibt die Zeitspanne vom Ausfall bis zur Wiederinbetriebnahme der technischen Einheiten an.

Abnutzungsvorrat [%] stellt den Bestand (Vorrat) beispielsweise an Werkstoff dar, der durch Verschleiß verbraucht werden kann, ohne dass infolgedessen ein Teil, ein Bauelement oder eine ganze technische Einheit seine mögliche Funktion nicht mehr erfüllen kann.

Abnutzung pro Bearbeitung [%] entspricht dem Abbau des Abnutzungsvorrates, hervorgerufen durch chemische und/oder physikalische Vorgänge pro Bearbeitungszeit eines Auftrages.

Abnutzungsgrenze für Wartung [%] gibt einen definierten Mindestwert des Abnutzungsvorrates an, bei dessen Erreichen eine Wartung eingeleitet wird.

Technologie- und Instandhaltungskennzahl stellt den Zusammenhang zwischen dem Automatisierungsgrad, Verkettungsgrad und der Komplexität der technischen Einheiten her und gibt das durchschnittlich notwendige Qualifikationsniveau des Instandhaltungspersonals an.

Vorhandene Ersatzteile [%] gibt an, wie viele möglicherweise benötigten Ersatzteilen der technischen Einheiten im Betreiberunternehmen bevorratet werden.

Bereitstellungszeit, wenn vorhanden [h] gibt an, wie lange es dauert, bevorratete Ersatzteile der technischen Einheiten vor Ort zur Verfügung zu stellen.

Beschaffungszeit, wenn nicht vorhanden [h] gibt an, wie lange es dauert, nicht bevorratete Ersatzteile der technischen Einheiten vom Hersteller bzw. Lieferanten zu beschaffen und vor Ort zur Verfügung zu stellen.

Inspektionsintervall [h] bestimmt in Abhängigkeit von der Betriebszeit, nach welcher Zeitspanne eine Inspektion an den technischen Einheiten durchgeführt werden muss.

Inspektionsdauer [h] entspricht der Dauer der Inspektion einer technischen Einheit.

Wartungsintervall bestimmt in Abhängigkeit von den Inspektionen, nach wie vielen Inspektionen eine Wartungsmaßnahme an den technischen Einheiten durchgeführt werden muss.

Wartungsvariante legt fest, wann eine Wartungsmaßnahme an den technischen Einheiten durchgeführt werden muss:

- a) bei Unterschreitung der Abnutzungsgrenze,
- b) nach einer festgelegten Anzahl von Inspektionen,
- c) bei einer Kombination aus a) und b)

Überholungsintervall [h] bestimmt in Abhängigkeit von der Betriebszeit, nach welcher Zeitspanne geplante Instandsetzungsmaßnahmen zum schrittweisen Austausch von Komponenten, deren Gebrauchsdauer endet, oder die Wiederherstellung der Komponenten bzw. zur Wiederherstellung von Abnutzungsvorräten an den technischen Einheiten durchgeführt werden müssen.

Überholungsdauer [h] entspricht der Dauer der geplanten Instandsetzungsmaßnahmen zur Überholung einer technischen Einheit.

Wahrscheinlichkeit von Störungen und Ausfällen [%] gibt an, in welcher Art und Häufigkeit und in welcher Komplexität die Ereignisse innerhalb der verschiedenen Schwerpunktbereiche stattfinden. Im Modell sind die Störungen und Ausfälle nach folgender Häufigkeit rein zufällig verteilt: 40 % mechanische, 30 % elektrische, 20 % steuerungs- und automatisierungstechnische und 10 % software- und informationstechnische Ereignisse.

C.4.3.2 Modellparameter der Instandhaltungsakteure

Fachkenntnisse/Qualifikationsniveau gibt das vorhandene Qualifikationsniveau der einzelnen Instandhaltungsakteure pro Schwerpunktbereich an.

Verrechnungsfaktor für Arbeitszeit [%] berücksichtigt die individuelle Qualifikation der Instandhaltungsakteure in Bezug auf das Qualifikationsniveau der Herstellerinstandhaltung. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Herstellerinstandhaltung die größte Fachkompetenz und das höchste Qualifikationsniveau zur Instandhaltung der jeweils „eigenen“ technischen Einheiten besitzt.

Interne Reaktionszeit [h] entspricht der Zeitspanne, die zwischen einer Störung oder einem Ausfall einer technischen Einheit und der Aufnahme der Instandhaltungstätigkeiten durch das unternehmenseigene Instandhaltungspersonal liegt.

Externe Reaktionszeit [h] entspricht der Zeitspanne, die zwischen einer Störung oder einem Ausfall einer technischen Einheit und dem Beginn des Instandhaltungsauftrages durch das Instandhaltungspersonal der Drittunternehmen liegt.

Schichtbetrieb [Stk.] gibt die Anzahl der Einzelschichten pro Arbeitstag an, in denen die einzelnen Instandhaltungsakteure eingesetzt werden.

Stundenverrechnungssatz (intern) [€/h] bestimmt die Kosten für den Einsatz des unternehmenseigenen Instandhaltungspersonals pro Arbeitsstunde.

Stundenverrechnungssatz (extern) [€/h] bestimmt die Kosten der Instandhaltungsakteure pro Arbeitsstunde. Dies gilt sowohl für das Instandhaltungspersonal der Drittunternehmen als auch für das Instandhaltungspersonal der Verbundinstandhaltung innerhalb der horizontalen Instandhaltungskooperation.

Entfernung zum Betreiberunternehmen [km] entspricht der Wegdistanz zum jeweiligen Betreiberunternehmen der technischen Einheiten.

Reisegeschwindigkeit [km/h] gibt die Durchschnittsgeschwindigkeit der Instandhaltungsakteure in Abhängigkeit von der Fahrstrecke an.

C.4.3.3 Simulationsdaten der technischen Einheiten

Tabelle C.22: Betriebsdaten der technischen Einheiten des Beispielunternehmens A

	Hochregal- system	Stetigförder- anlage	Verpackungs- anlage I	Verpackungs- anlage II
<i>Betriebsdaten</i>				
Bezeichnungsnummer	(A.1)	(A.2)	(A.3)	(A.4)
Bearbeitungszyklus [min]	15,0	8,0	12,0	15,0
Bearbeitungszeit [min]	15,0	8,0	8,0	6,0
Betriebszeit pro Schicht [h]	8,0	8,0	8,0	8,0
Schichten pro Tag [Stk.]	2	2	2	1
Arbeitstage pro Jahr [d]	250	250	250	250
Maschinenstundensatz [€/h]	82,50	4,80	42,50	28,30
Mittlere Verfügbarkeit [%]	80,0	91,0	70,0	87,0
Ausfallzeit (MTTR) [h]	6,0	3,5	6,0	2,5
Abnutzungsvorrat [%]	100	100	100	100
Abnutzung pro Bearbeitung [%]	0,001	0,001	0,002	0,01
Abnutzungsgrenze für Wartung [%]	10	10	8	8
Technologie- und Instandhaltungskennzahl	2,67	2,00	1,33	1,33
Vorhandene Ersatzteile [%]	5	2	10	20
Bereitstellungszeit, wenn vorhanden [h]	1,0	1,0	1,0	1,0
Beschaffungszeit, wenn <i>nicht</i> vor- handen [h]	24,0	24,0	24,0	36,0
Inspektionsintervall [h]	120	500	200	320
Inspektionsdauer [h]	1,5	1,5	1,0	0,75
Wartungsintervall	4	–	5	8
Wartungsvariante	c	a	c	c
Überholungsintervall [h]	4.000	4.000	4.000	4.000
Überholungsdauer [h]	32,0	12,0	24,0	16,0
<i>Häufigkeit von Störungen und Ausfällen, die entsprechende Fachkompetenz erfordern</i>				
Mechanische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	30 %	50 %	30 %	35 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	58 %	45 %	55 %	60 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	12 %	5 %	15 %	5 %
Elektrische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	36 %	30 %	35 %	60 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	58 %	60 %	40 %	35 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	6 %	10 %	25 %	5 %
Steuerungs- und automatisie- rungstechnische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	24 %	73 %	55 %	66 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	64 %	22 %	32 %	29 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	12 %	5 %	13 %	5 %
Software- und informations- technische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	6 %	92 %	30 %	25 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	30 %	8 %	70 %	75 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	64 %	–	–	–

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.23: Betriebsdaten der technischen Einheiten des Beispielunternehmens B

	Kunststoffspritz- gussanlage I	Kunststoffspritz- gussanlage II	Beschich- tungsanlage	Bearbei- tungszentrum
Betriebsdaten				
Bezeichnungsnummer	(B.1)	(B.2)	(B.3)	(B.4)
Bearbeitungszyklus [min]	2,0	4,0	6,0	12,0
Bearbeitungszeit [min]	2,0	4,0	6,0	12,0
Betriebszeit pro Schicht [h]	8,0	8,0	8,0	8,0
Schichten pro Tag [Stk.]	3	2	3	2
Arbeitstage pro Jahr [d]	250	250	250	250
Maschinenstundensatz [€/h]	34,50	28,00	56,00	168,00
Mittlere Verfügbarkeit [%]	85,0	83,0	88,0	82,0
Ausfallzeit (MTTR) [h]	6,0	4,0	4,0	8,0
Abnutzungsvorrat [%]	100	100	100	100
Abnutzung pro Bearbeitung [%]	0,0003	0,001	0,0002	0,0005
Abnutzungsgrenze für Wartung [%]	8	8	5	12
Technologie- und Instandhaltungskennzahl	1,00	1,00	2,67	2,33
Vorhandene Ersatzteile [%]	30	30	10	3
Bereitstellungszeit, wenn vorhanden [h]	1,0	1,0	1,0	1,0
Beschaffungszeit, wenn <i>nicht</i> vor- handen [h]	32,0	24,0	24,0	24,0
Inspektionsintervall [h]	120	120	320	320
Inspektionsdauer [h]	1,0	1,0	2,0	4,0
Wartungsintervall	–	–	10	3
Wartungsvariante	a	a	b	c
Überholungsintervall [h]	2.400	3.200	6.000	2.400
Überholungsdauer [h]	20,0	16,0	16,0	36,0
Häufigkeit von Störungen und Ausfällen, die entsprechende Fachkompetenz erfordern				
Mechanische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	45 %	50 %	35 %	15 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	40 %	45 %	45 %	40 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	15 %	5 %	20 %	45 %
Elektrische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	65 %	80 %	55 %	10 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	25 %	15 %	25 %	30 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	10 %	5 %	20 %	60 %
Steuerungs- und automatisie- rungstechnische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	74 %	78 %	5 %	25 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	20 %	18 %	80 %	60 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	6 %	4 %	15 %	15 %
Software- und informations- technische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	90 %	88 %	30 %	20 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	10 %	12 %	50 %	58 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	–	–	20 %	22 %

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.24: Betriebsdaten der technischen Einheiten des Beispielunternehmens C

	Bearbeitungs- zentrum	Fertigungs- maschine I	Fertigungs- maschine II	Presse
<i>Betriebsdaten</i>				
Bezeichnungsnummer	(C.1)	(C.2)	(C.3)	(C.4)
Bearbeitungszyklus [min]	20,0	8,0	8,0	240,0
Bearbeitungszeit [min]	20,0	8,0	8,0	5,0
Betriebszeit pro Schicht [h]	8,0	8,0	8,0	8,0
Schichten pro Tag [Stk.]	1	1	1	1
Arbeitstage pro Jahr [d]	250	250	250	250
Maschinenstundensatz [€/h]	145,00	36,00	39,50	8,00
Mittlere Verfügbarkeit [%]	81,0	81,0	72,0	93,0
Ausfallzeit (MTTR) [h]	8,0	4,0	6,0	3,0
Abnutzungsvorrat [%]	100	100	100	100
Abnutzung pro Bearbeitung [%]	0,001	0,001	0,02	0,001
Abnutzungsgrenze für Wartung [%]	8	3	3	0
Technologie- und Instandhaltungskennzahl	2,67	1,33	1,33	0,33
Vorhandene Ersatzteile	5	10	15	3
Bereitstellungszeit, wenn vorhanden [h]	1,0	1,0	1,0	1,0
Beschaffung, wenn <i>nicht</i> vor- handen [h]	24,00	32,00	32,00	60,00
Inspektionsintervall [h]	120	40	40	1.000
Inspektionsdauer [h]	2,0	1,0	1,0	1,0
Wartungsintervall	2	3	3	–
Wartungsvariante	c	b	b	a
Überholungsintervall [h]	3.000	3.200	3.200	6.000
Überholungsdauer [h]	16,0	12,0	16,0	12,0
<i>Häufigkeit von Störungen und Ausfällen, die entsprechende Fachkompetenz erfordern</i>				
Mechanische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	15 %	40 %	50 %	80 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	60 %	55 %	40 %	15 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	25 %	5 %	10 %	5 %
Elektrische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	10 %	55 %	45 %	80 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	60 %	35 %	45 %	10 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	30 %	10 %	10 %	10 %
Steuerungs- und Automatisie- rungstechnische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	46 %	60 %	55 %	80 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	48 %	35 %	40 %	20 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	6 %	5 %	5 %	–
Software- und Informations- technische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	26 %	85 %	80 %	–
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	58 %	15 %	20 %	–
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	16 %	–	–	–

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.25: Betriebsdaten der technischen Einheiten des Beispielunternehmens D

	Hochregal- system	Unstetig- förder I	Unstetig- förder II	Verpackungs- anlage
<i>Betriebsdaten</i>				
Bezeichnungsnummer	(D.1)	(D.2)	(D.3)	(D.4)
Bearbeitungszyklus [min]	12,0	10,0	15,0	10,0
Bearbeitungszeit [min]	8,0	10,0	15,0	8,0
Betriebszeit pro Schicht [h]	8,0	8,0	8,0	8,0
Schichten pro Tag [Stk.]	2	2	2	2
Arbeitstage pro Jahr [d]	250	250	250	250
Maschinenstundensatz [€/h]	95,00	12,00	12,00	9,50
Mittlere Verfügbarkeit [%]	88,0	92,0	90,0	88,0
Ausfallzeit (MTTR) [h]	6,0	3,0	2,0	1,5
Abnutzungsvorrat [%]	100	100	100	100
Abnutzung pro Bearbeitung [%]	0,0005	0,001	0,001	0,003
Abnutzungsgrenze für Wartung [%]	10	3	3	8
Technologie- und Instandhaltungskennzahl	2,67	0,67	0,67	2,00
Vorhandene Ersatzteile [%]	–	20	20	5
Bereitstellungszeit, wenn vorhanden [h]	1,0	1,0	1,0	1,0
Beschaffungszeit, wenn <i>nicht</i> vor- handen [h]	24,00	24,00	32,00	24,00
Inspektionsintervall [h]	240	720	720	4.000
Inspektionsdauer [h]	4,0	2,0	2,0	1,0
Wartungsintervall	3	–	–	–
Wartungsvariante	c	a	a	a
Überholungsintervall [h]	6.000	8.000	8.000	10.000
Überholungsdauer [h]	24,0	8,0	8,0	6,0
<i>Häufigkeit von Störungen und Ausfällen, die entsprechende Fachkompetenz erfordern</i>				
Mechanische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	30 %	75 %	75 %	70 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	45 %	20 %	20 %	25 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	25 %	5 %	5 %	5 %
Elektrische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	30 %	55 %	70 %	80 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	50 %	40 %	25 %	15 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	20 %	5 %	5 %	5 %
Steuerungs- und Automatisie- rungstechnische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	33 %	–	–	55 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	60 %	–	–	35 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	7 %	–	–	10 %
Software- und Informations- technische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	36 %	–	–	70 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	48 %	–	–	25 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	16 %	–	–	5 %

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.26: Betriebsdaten der technischen Einheiten des Beispielunternehmens E

	Abkant- presse	Wasserstrahl- schneidanlage	Blechbearbei- tungszentrum	Laserstrahl- Schweißanlage
Betriebsdaten				
Bezeichnungsnummer	(E.1)	(E.2)	(E.3)	(E.4)
Bearbeitungszyklus [min]	12,0	45,0	10,0	30,0
Bearbeitungszeit [min]	10,0	40,0	8,0	25,0
Betriebszeit pro Schicht [h]	8,0	8,0	8,0	8,0
Schichten pro Tag [Stk.]	1	1	2	2
Arbeitstage pro Jahr [d]	250	250	250	250
Maschinenstundensatz [€/h]	13,50	76,00	156,00	135,00
Mittlere Verfügbarkeit [%]	88,0	87,0	80,0	83,0
Ausfallzeit (MTTR) [h]	2,0	4,0	8,0	6,0
Abnutzungsvorrat [%]	100	100	100	100
Abnutzung pro Bearbeitung [%]	0,001	0,001	0,001	0,002
Abnutzungsgrenze für Wartung [%]	5	8	12	12
Technologie- und Instandhaltungskennzahl	0,67	1,33	2,33	2,67
Vorhandene Ersatzteile [%]	–	5	5	10
Bereitstellungszeit, wenn vorhanden [h]	1,0	1,0	1,0	1,0
Beschaffungszeit, wenn <i>nicht</i> vor- handen [h]	24,00	36,00	32,00	32,00
Inspektionsintervall [h]	320	160	80	80
Inspektionsdauer [h]	0,5	1,0	2,0	1,0
Wartungsintervall	–	–	3	3
Wartungsvariante	a	a	c	c
Überholungsintervall [h]	4.000	3.000	6.000	4.000
Überholungsdauer [h]	6,0	8,0	16,0	8,0
Häufigkeit von Störungen und Ausfällen, die entsprechende Fachkompetenz erfordern				
Mechanische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	50 %	40 %	35 %	70 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	45 %	50 %	60 %	25 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	5 %	10 %	5 %	5 %
Elektrische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	60 %	30 %	15 %	15 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	30 %	40 %	50 %	25 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	10 %	30 %	35 %	60 %
Steuerungs- und Automatisie- rungstechnische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	76 %	50 %	35 %	37 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	18 %	35 %	50 %	45 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	6 %	15 %	15 %	18 %
Software- und Informations- technische Störungen und Ausfälle:				
- niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$)	36 %	30 %	35 %	35 %
- mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$)	58 %	60 %	40 %	50 %
- hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	6 %	10 %	25 %	15 %

Quelle: Eigene Darstellung

C.4.3.4 Simulationsdaten der Instandhaltungsakteure

Tabelle C.27: Informationen der Instandhaltungsakteure des Beispielunternehmens A

	Mitarbeiter A ₁	Mitarbeiter A ₂	Hersteller des Hochregalsystems (A.1)	Hersteller der Stetigförderanlage (A.2)	Hersteller des Verpackungssystems I (A.3)	Hersteller des Verpackungssystems II (A.4)	Instandhaltungsdienstleister I (A.1, A.2)	Instandhaltungsdienstleister II (A.3, A.4)
<i>Fachkenntnisse/Qualifikationsniveau</i>								
Mechanische Instandhaltung: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	mittel	niedrig	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Elektrische Instandhaltung: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	niedrig	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Steuerungs- und Automatisierungstechnik: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	mittel	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Software- und Informationstechnik: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	–	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Verrechnungsfaktor für Arbeitszeit [%]	80	80	100	100	100	100	85	85
<i>Instandhaltungsinformationen</i>								
Interne Reaktionszeit [h]	0,5	0,5	–	–	–	–	–	–
Externe Reaktionszeit [h]	2,0	2,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	8,0 ± 4,0	8,0 ± 4,0
Schichtbetrieb	1	1	–	–	–	–	–	–
Stundenverrechnungssatz (intern) [€/h]	25,00	25,00	–	–	–	–	–	–
Stundenverrechnungssatz (extern) [€/h]	65,00	65,00	100,00	86,00	93,00	88,00	74,00	69,00
Entfernung zum Betreiberunternehmen [km]	–	–	300	480	240	130	60	45
Reisegeschwindigkeit [km/h]	45	45	100	100	100	100	70	70

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.28: Informationen der Instandhaltungsakteure des Beispielunternehmens B

	Mitarbeiter B ₁	Mitarbeiter B ₂	Mitarbeiter B ₃	Mitarbeiter B ₄	Hersteller der Kunststoff-spritzgussanlage I (B.1)	Hersteller der Kunststoff-spritzgussanlage II (B.2)	Hersteller der Beschichtungsanlage (B.3)	Hersteller des Bearbeitungszentrums (B.4)
Fachkenntnisse/Qualifikationsniveau								
Mechanische Instandhaltung: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	hoch	hoch	mittel	–	hoch	hoch	hoch	hoch
Elektrische Instandhaltung: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	mittel	mittel	hoch	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch
Steuerungs- und Automatisierungstechnik: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Software- und Informationstechnik: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	mittel	niedrig	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Verrechnungsfaktor für Arbeitszeit [%]	90	85	85	80	100	100	100	100
Instandhaltungsinformationen								
Interne Reaktionszeit [h]	0,5	0,5	0,5	0,5	–	–	–	–
Externe Reaktionszeit [h]	2,0	2,0	2,0	2,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0
Schichtbetrieb	2	1	2	1	–	–	–	–
Stundenverrechnungssatz (intern) [€/h]	32,10	28,50	30,60	32,10	–	–	–	–
Stundenverrechnungssatz (extern) [€/h]	65,00	65,00	65,00	65,00	92,00	92,00	87,00	108,00
Entfernung zum Betreiberunternehmen [km]	–	–	–	–	380	380	620	120
Reisegeschwindigkeit [km/h]	45	45	45	45	100	100	100	100

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.29: Informationen der Instandhaltungsakteure
des Beispielunternehmens C

	Hersteller des Bearbeitungs- zentrums (C.1)	Hersteller der Fertigungs- maschine I (C.2)	Hersteller der Fertigungs- maschine II (C.3)	Hersteller der Presse (C.4)	Instandhaltungsdienst- leister (C.2, C.4)
Fachkenntnisse/Qualifikationsniveau					
Mechanische Instandhaltung: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Elektrische Instandhaltung: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Steuerungs- und Automatisierungstechnik: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel
Software- und Informationstechnik: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	hoch	hoch	hoch	hoch	niedrig
Verrechnungsfaktor für Arbeitszeit [%]	100	100	100	100	90
Instandhaltungsinformationen					
Interne Reaktionszeit [h]	–	–	–	–	–
Externe Reaktionszeit [h]	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	8,0 ± 4,0
Schichtbetrieb	–	–	–	–	–
Stundenverrechnungssatz (intern) [€/h]	–	–	–	–	–
Stundenverrechnungssatz (extern) [€/h]	98,00	92,00	88,00	68,00	76,00
Entfernung zum Betreiber- unternehmen [km]	350	420	210	620	60
Reisegeschwindigkeit [km/h]	100	100	100	100	70

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.30: Informationen der Instandhaltungsakteure
des Beispielunternehmens D

	Hersteller des Hochregalsystems (D.1)	Hersteller des Unstetigförderers I (D.2)	Hersteller des Unstetigförderers II (D.3)	Hersteller der Verpackungsanlage (D.4)	Instandhaltungsdienstleister I (D.1)	Instandhaltungsdienstleister II (D.4)
Fachkenntnisse/Qualifikationsniveau						
Mechanische Instandhaltung: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Elektrische Instandhaltung: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel
Steuerungs- und Automatisierungstechnik: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel
Software- und Informationstechnik: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel	mittel
Verrechnungsfaktor für Arbeitszeit [%]	100	100	100	100	90	90
Instandhaltungsinformationen						
Externe Reaktionszeit [h]	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	8,0 ± 4,0	8,0 ± 4,0
Schichtbetrieb	–	–	–	–	–	–
Stundenverrechnungssatz (intern) [€/h]	–	–	–	–	–	–
Stundenverrechnungssatz (extern) [€/h]	94,00	76,00	72,00	80,00	78,00	72,50
Entfernung zum Betreiberunternehmen [km]	540	120	370	290	60	50
Reisegeschwindigkeit [km/h]	100	100	100	100	70	70

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.31: Informationen der Instandhaltungsakteure des Beispielunternehmens E

	Mitarbeiter E ₁	Hersteller der Abkantspresse (E.1)	Hersteller der Wasserstrahlschneidanlage (E.2)	Hersteller des Blechbearbeitungszentrums (E.3)	Hersteller der Laserstrahlschweißanlage (E.4)	Instandhaltungsdienstleister (E.1)
Fachkenntnisse/Qualifikationsniveau						
Mechanische Instandhaltung: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	niedrig	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Elektrische Instandhaltung: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	–	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Steuerungs- und Automatisierungstechnik: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	–	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Software- und Informationstechnik: - niedrig ($0 \leq T_{IH_k} < 1$) - mittel ($1 \leq T_{IH_k} < 2$) - hoch ($2 \leq T_{IH_k} < 3$)	–	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel
Verrechnungsfaktor für Arbeitszeit [%]	45	100	100	100	100	90
Instandhaltungsinformationen						
Interne Reaktionszeit [h]	1,0	–	–	–	–	–
Externe Reaktionszeit [h]	2,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	20,0 ± 4,0	8,0 ± 4,0
Schichtbetrieb	1	–	–	–	–	–
Stundenverrechnungssatz (intern) [€/h]	28,00	–	–	–	–	–
Stundenverrechnungssatz (extern) [€/h]	65,00	110,00	93,00	110,00	110,00	78,00
Entfernung zum Betreiberunternehmen [km]	–	370	140	370	370	60
Reisegeschwindigkeit [km/h]	45	100	100	100	100	70

Quelle: Eigene Darstellung

C.4.4 Simulationsergebnisse der Szenarien

Tabelle C.32: Simulationsergebnisse der Szenarien 1 und 2 der Unternehmen A, B und C

Technische Einheiten	Szenario 1											Szenario 2										
	Inspektionen [Stk.]	Wartungen [Stk.]	geplante Instand- setzungen [Stk.]	nicht geplante In- standsetzungen [Stk.]	Ausfallzeit [h]	Mittlere Verfügbarkeit [%]	Direkte Instandhal- tungskosten [€]	Indirekte Instand- haltungskosten [€]	Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	Einnahmen aus Ver- bündelungen [€]	Effektive Instand- haltungskosten [€]	Inspektionen [Stk.]	Wartungen [Stk.]	geplante Instand- setzungen [Stk.]	nicht geplante In- standsetzungen [Stk.]	Ausfallzeit [h]	Mittlere Verfügbarkeit [%]	Direkte Instandhal- tungskosten [€]	Indirekte Instand- haltungskosten [€]	Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	Einnahmen aus Ver- bündelungen [€]	Effektive Instand- haltungskosten [€]
Unternehmen A																						
A.1	199	51	5	135	805	79,9	223.340	66.399	289.739	289.739	289.739	199	50	5	137	755	81,1	151.951	62.325	214.276	214.276	214.276
A.2	47	70	5	74	355	91,1	38.040	1.703	39.743	39.743	39.743	47	70	5	77	365	90,9	38.459	1.750	40.209	40.209	40.209
A.3	119	122	5	268	1.208	69,8	131.106	51.356	182.462	182.462	182.462	119	125	5	271	1.234	69,2	130.898	52.439	183.337	183.337	183.337
A.4	74	456	5	121	257	87,2	47.025	7.260	54.286	54.286	54.286	74	454	5	121	264	86,8	45.956	7.470	53.426	53.426	53.426
Gesamt (4 Jahre): Gesamt (1 Jahr): Verfügbarkeit* [%]:	439 110	699 175	20 5	598 150	2.625 656	82,0	439.511 109.878	126.718 31.680	566.229 141.557	0 0	566.229 141.557	439 110	699 175	20 5	606 152	2.618 654	82,0	367.265 91.816	123.984 30.996	491.249 122.812	122.420 30.605	368.829 92.207
Unternehmen B																						
B.1	199	155	9	91	907	84,9	25.629	31.292	56.921	56.921	56.921	199	153	9	102	955	84,1	55.969	32.963	88.933	88.933	88.933
B.2	199	127	7	159	680	83,0	40.140	19.049	59.189	59.189	59.189	199	126	7	148	689	82,8	75.442	19.305	94.747	94.747	94.747
B.3	74	28	3	136	676	88,7	30.670	37.856	68.525	68.525	68.525	74	28	3	138	748	87,5	67.533	41.887	109.419	109.419	109.419
B.4	74	28	9	66	730	81,8	56.555	122.620	179.175	179.175	179.175	74	28	9	71	751	81,2	88.814	126.147	214.961	214.961	214.961
Gesamt (4 Jahre): Gesamt (1 Jahr): Verfügbarkeit* [%]:	546 137	338 85	28 7	452 113	2.993 748	84,6	152.995 38.249	210.816 52.704	363.811 90.953	0 0	363.811 90.953	546 137	335 84	28 7	459 115	3.144 786	83,9	287.758 71.940	220.302 55.076	508.060 127.015	519.872 129.968	-11.812 -2.953
Unternehmen C																						
C.1	199	99	7	39	381	80,9	265.080	55.253	320.333	320.333	320.333	199	99	7	37	333	83,4	167.018	48.235	215.252	215.252	215.252
C.2	599	201	7	47	373	81,3	457.759	13.436	471.195	471.195	471.195	599	201	7	55	367	81,6	169.842	13.220	183.061	183.061	183.061
C.3	599	654	7	42	550	72,5	411.076	21.725	432.801	432.801	432.801	599	661	7	48	520	74,0	178.525	20.539	199.065	199.065	199.065
C.4	23	0	3	223	147	92,7	149.902	1.173	151.075	151.075	151.075	23	0	3	221	196	90,2	42.204	1.568	43.771	43.771	43.771
Gesamt (4 Jahre): Gesamt (1 Jahr): Verfügbarkeit* [%]:	1.420 355	954 239	24 6	351 88	1.451 363	81,9	1.283.817 320.954	91.588 22.897	1.375.405 343.851	0 0	1.375.405 343.851	1.420 355	961 240	24 6	361 90	1.416 354	82,3	557.588 139.397	83.562 20.890	641.150 160.287	0 0	641.150 160.287
* Entspricht dem Durchschnittswert der betrachteten technischen Einheiten bezogen auf vier Jahre.																						

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.33: Simulationsergebnisse der Szenarien 1 und 2 der Unternehmen D und E

Technische Einheiten	Szenario 1											Szenario 2										
	Inspektionen [Stk.]	Wartungen [Stk.]	geplante Instandsetzungen [Stk.]	nicht geplante Instandsetzungen [Stk.]	Ausfallzeit [h]	Mittlere Verfügbarkeit [%]	Direkte Instandhaltungskosten [€]	Indirekte Instandhaltungskosten [€]	Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	Einnahmen aus Verbundleistungen [€]	Effektive Instandhaltungskosten [€]	Inspektionen [Stk.]	Wartungen [Stk.]	geplante Instandsetzungen [Stk.]	nicht geplante Instandsetzungen [Stk.]	Ausfallzeit [h]	Mittlere Verfügbarkeit [%]	Direkte Instandhaltungskosten [€]	Indirekte Instandhaltungskosten [€]	Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	Einnahmen aus Verbundleistungen [€]	Effektive Instandhaltungskosten [€]
Unternehmen D																						
D.1	99	61	3	14	462	88,4	181.503	43.910	225.413		225.413	99	62	3	14	431	89,2	103.496	40.973	144.470		144.470
D.2	33	54	2	64	301	92,5	60.809	3.607	64.416		64.416	33	54	2	60	265	93,4	32.474	3.184	35.658		35.658
D.3	33	35	2	139	382	90,5	112.846	4.583	117.428		117.428	33	34	2	138	379	90,5	42.573	4.546	47.119		47.119
D.4	5	205	2	170	482	87,9	155.531	4.581	160.112		160.112	5	203	2	171	519	87,0	52.838	4.933	57.771		57.771
Gesamt (4 Jahre):	170	355	9	387	1.627		510.689	56.681	567.369	0	567.369	170	353	9	383	1.595		231.382	53.636	285.018	0	285.018
Gesamt (1 Jahr):	43	89	2	97	407		127.672	14.170	141.842	0	141.842	43	88	2	96	399		57.845	13.409	71.254	0	71.254
Verfügbarkeit* [%]:						89,8											90,0					
Unternehmen E																						
E.1	74	24	5	197	228	88,6	125.021	3.073	128.094		128.094	74	24	5	203	247	87,7	50.085	3.328	53.413		53.413
E.2	149	0	7	92	250	87,5	105.129	18.994	124.123		124.123	149	0	7	96	233	88,3	53.750	17.745	71.495		71.495
E.3	299	101	3	66	801	80,0	370.907	125.032	495.939		495.939	299	101	3	64	679	83,0	211.550	105.878	317.428		317.428
E.4	299	96	5	76	688	82,8	322.444	92.906	415.350		415.350	299	100	5	83	693	82,7	206.381	93.580	299.961		299.961
Gesamt (4 Jahre):	821	221	20	431	1.967		923.502	240.004	1.163.506	0	1.163.506	821	225	20	446	1.852		521.766	220.531	742.297	41.948	700.349
Gesamt (1 Jahr):	205	55	5	108	492		230.875	60.001	290.877	0	290.877	205	56	5	112	463		130.441	55.133	185.574	10.487	175.087
Verfügbarkeit* [%]:						84,7											85,4					
* Entspricht dem Durchschnittswert der betrachteten technischen Einheiten bezogen auf vier Jahre.																						

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.34: Simulationsergebnisse der Szenarien 3 und 4 der Unternehmen A, B und C

Technische Einheiten	Szenario 3											Szenario 4										
	Inspektionen [Stk.]	Wartungen [Stk.]	geplante Instandsetzungen [Stk.]	nicht geplante Instandsetzungen [Stk.]	Ausfallzeit [h]	Mittlere Verfügbarkeit [%]	Direkte Instandhaltungskosten [€]	Indirekte Instandhaltungskosten [€]	Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	Einnahmen aus Verbundleistungen [€]	Effektive Instandhaltungskosten [€]	Inspektionen [Stk.]	Wartungen [Stk.]	geplante Instandsetzungen [Stk.]	nicht geplante Instandsetzungen [Stk.]	Ausfallzeit [h]	Mittlere Verfügbarkeit [%]	Direkte Instandhaltungskosten [€]	Indirekte Instandhaltungskosten [€]	Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	Einnahmen aus Verbundleistungen [€]	Effektive Instandhaltungskosten [€]
Unternehmen A																						
A.1	199	49	5	135	789	80,3	90.450	65.063	155.513		155.513	199	49	5	131	692	82,7	81.340	59.634	140.974		140.974
A.2	47	69	5	81	395	90,1	25.585	1.897	27.482		27.482	47	70	5	75	337	91,6	22.165	1.704	23.869		23.869
A.3	119	121	5	277	1.205	69,9	95.234	51.201	146.435		146.435	119	128	5	263	1.089	72,8	77.331	49.786	127.117		127.117
A.4	74	449	5	119	284	85,8	36.611	8.042	44.653		44.653	74	455	5	119	262	86,9	34.351	7.301	41.651		41.651
Gesamt (4 Jahre): Gesamt (1 Jahr): Verfügbarkeit* [%]:	439 110	688 172	20 5	612 153	2.673 668		247.881 61.970	126.203 31.551	374.084 93.521	174.711 43.678	199.373 49.843	439 110	702 176	20 5	588 147	2.380 595		215.187 53.797	118.425 29.606	333.612 83.403	170.410 42.603	163.202 40.800
Unternehmen B																						
B.1	199	153	9	93	966	83,9	36.568	33.337	69.905		69.905	199	154	9	92	928	84,5	32.509	32.012	64.521		64.521
B.2	199	125	7	153	715	82,1	53.175	20.021	73.196		73.196	199	127	7	157	670	83,2	45.598	18.764	64.362		64.362
B.3	74	28	3	132	781	87,0	34.430	43.710	78.141		78.141	74	29	3	134	685	88,6	30.400	38.356	68.756		68.756
B.4	74	29	9	74	765	80,9	49.132	128.568	177.700		177.700	74	28	9	71	680	83,0	43.736	114.299	158.035		158.035
Gesamt (4 Jahre): Gesamt (1 Jahr): Verfügbarkeit* [%]:	546 137	335 84	28 7	452 113	3.227 807		173.305 43.326	225.637 56.409	398.942 99.735	715.411 178.853	-316.470 -79.117	546 137	338 85	28 7	454 114	2.963 741		152.242 38.061	203.432 50.858	355.674 88.919	677.718 169.430	-322.044 -80.511
Unternehmen C																						
C.1	199	97	7	32	306	84,7	75.313	44.389	119.702		119.702	199	97	7	38	189	90,6	77.003	27.343	104.346		104.346
C.2	599	201	7	54	353	82,3	95.443	12.714	108.158		108.158	599	199	7	46	155	92,2	92.510	5.587	98.097		98.097
C.3	599	667	7	45	544	72,8	140.955	21.480	162.435		162.435	599	739	7	44	321	83,9	146.521	12.695	159.216		159.216
C.4	23	0	3	239	221	89,0	36.196	1.767	37.964		37.964	23	0	3	221	161	92,0	32.112	1.286	33.398		33.398
Gesamt (4 Jahre): Gesamt (1 Jahr): Verfügbarkeit* [%]:	1.420 355	965 241	24 6	370 93	1.424 356		347.908 86.977	80.351 20.088	428.258 107.065	0 0	428.258 107.065	1.420 355	1.035 259	24 6	349 87	826 206		348.147 87.037	46.911 11.728	395.058 98.764	0 0	395.058 98.764
* Entspricht dem Durchschnittswert der betrachteten technischen Einheiten bezogen auf vier Jahre.																						

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle C.35: Simulationsergebnisse der Szenarien 3 und 4 der Unternehmen D und E

Technische Einheiten	Szenario 3										Szenario 4																																							
	Inspektionen [Stk.]					Wartungen [Stk.]					nicht geplante In-standsetzungen [Stk.]					Ausfallzeit [h]					Mittlere Verfügbarkeit [%]					Direkte Instandhal- tungskosten [€]					Indirekte Instand- haltungskosten [€]					Gesamtkosten der Instandhaltung [€]					Einnahmen aus Ver- bundleistungen [€]					Effektive Instand- haltungskosten [€]				
	Inspektionen [Stk.]	Wartungen [Stk.]	geplante Instand- setzungen [Stk.]	nicht geplante In- standsetzungen [Stk.]	Ausfallzeit [h]	Mittlere Verfügbarkeit [%]	Direkte Instandhal- tungskosten [€]	Indirekte Instand- haltungskosten [€]	Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	Einnahmen aus Ver- bundleistungen [€]	Effektive Instand- haltungskosten [€]	Inspektionen [Stk.]	Wartungen [Stk.]	geplante Instand- setzungen [Stk.]	nicht geplante In- standsetzungen [Stk.]	Ausfallzeit [h]	Mittlere Verfügbarkeit [%]	Direkte Instandhal- tungskosten [€]	Indirekte Instand- haltungskosten [€]	Gesamtkosten der Instandhaltung [€]	Einnahmen aus Ver- bundleistungen [€]	Effektive Instand- haltungskosten [€]																												
Unternehmen D																																																		
D.1 D.2 D.3 D.4	99	62	3	13	427	89,3	55.842	40.556	96.399	0	96.399	99	61	3	16	435	89,1	56.399	41.292	97.691	0	97.691	99	61	3	16	435	89,1	56.399	41.292	97.691	0	97.691																	
	33	34	2	67	308	92,3	30.156	3.696	33.852	0	33.852	33	54	2	65	280	93,0	29.477	3.362	32.839	0	32.839	33	54	2	65	280	93,0	29.477	3.362	32.839	0	32.839																	
	33	34	2	139	422	89,5	38.918	5.060	43.978	0	43.978	33	35	2	132	368	90,8	34.001	4.416	38.417	0	38.417	33	35	2	132	368	90,8	34.001	4.416	38.417	0	38.417																	
	5	201	2	165	562	85,9	42.501	5.341	47.841	0	47.841	5	202	2	180	542	86,4	41.808	5.153	46.960	0	46.960	5	202	2	180	542	86,4	41.808	5.153	46.960	0	46.960																	
Gesamt (4 Jahre): Gesamt (1 Jahr): Verfügbarkeit* [%]:	170 43	351 88	9 2	384 96	1.719 430	89,3	16.7417 41.854	54.653 13.663	222.070 55.518	0 0	222.070 55.518	170 43	352 88	9 2	393 98	1.625 406	89,8	161.684 40.421	54.223 13.556	215.907 53.977	0 0	215.907 53.977	170 43	352 88	9 2	393 98	1.625 406	89,8	161.684 40.421	54.223 13.556	215.907 53.977	0 0	215.907 53.977																	
Unternehmen E																																																		
E.1 E.2 E.3 E.4	74	24	5	213	265	86,7	40.918	3.584	44.502	0	44.502	74	24	5	197	241	88,0	34.976	3.251	38.227	0	38.227	74	24	5	197	241	88,0	34.976	3.251	38.227	0	38.227																	
	149	0	7	97	250	87,5	46.565	19.037	65.602	0	65.602	149	0	7	103	245	87,8	45.188	18.597	63.786	0	63.786	149	0	7	103	245	87,8	45.188	18.597	63.786	0	63.786																	
	299	99	3	65	788	80,3	100.008	122.917	222.925	0	222.925	299	99	3	71	727	81,8	99.854	113.342	213.196	0	213.196	299	99	3	71	727	81,8	99.854	113.342	213.196	0	213.196																	
	299	92	5	76	661	83,5	78.064	89.223	167.287	0	167.287	299	97	5	80	651	83,7	76.205	87.828	164.032	0	164.032	299	97	5	80	651	83,7	76.205	87.828	164.032	0	164.032																	
Gesamt (4 Jahre): Gesamt (1 Jahr): Verfügbarkeit* [%]:	821 205	215 54	20 5	451 113	1.965 491	84,5	265.555 66.389	234.761 58.690	500.316 125.079	61.305 15.326	439.011 109.753	821 205	220 55	20 5	451 113	1.863 466	85,3	256.223 64.056	223.018 55.754	479.241 119.810	39.110 9.777	440.131 110.033	821 205	220 55	20 5	451 113	1.863 466	85,3	256.223 64.056	223.018 55.754	479.241 119.810	39.110 9.777	440.131 110.033																	
* Entspricht dem Durchschnittswert der betrachteten technischen Einheiten bezogen auf vier Jahre.																																																		
Quelle: Eigene Darstellung																																																		